

Dr. FRAN TUĆAN  
PROFESOR MINERALOGIJE I PETROGRAFIJE NA UNIVERZITETU U ZAGREBU

---

## MINERALOGIJA

---

KNJIGA PRVA

### OPĆA MINERALOGIJA

KNJIGA DRUGA

### SPECIJALNA MINERALOGIJA



DRŽAVNA ŠTAMPARIJA  
KRALJEVINE SRBA, HRVATA I SLOVENACA  
BEOGRAD — 1928.

# OPĆA MINERALOGIJA

NAPISAO

Dr. FRAN TUĆAN

PROFESOR MINERALOGIJE I PETROGRAFIJE NA FILO-  
ZOFSKOM FAKULTETU UNIVERZITETA U ZAGREBU

---

SA 804 SLIKE U TEKSTU



DRŽAVNA ŠTAMPARIJA  
KRALJEVINE SRBA, HRVATA I SLOVENACA  
BEOGRAD — 1928.

*MOME UCITELJU*

*MIŠI KIŠPATIĆU*

*ZA ZNAK, BLAGODARNOSTI I VELIKOGA POŠTOVANJA  
POSVEĆUJEM OVU KNJIGU.*

## PREDGOVOR.

Ova je knjiga nastala iz osjećaja dužnosti da dam svojim djacima udžbenik Mineralogije. Ona je u neku ruku preradjeni i znatno prošireni udžbenik Mineralogije i Geologije, što sam ga napisao g. 1923. za više razrede srednjih škola, a u koliko je proširen, vidi se po tom, što obuhvata dvije knjige: Opću Mineralogiju i Specijalnu Mineralogiju.

Znajući, da studij mineralogije zadaje djacima dosta poteškoća, nastojao sam da u prikazivanju pojedinih mineraloških pitanja budem što jednostavniji, da po mogućnosti zagrijem slušače prirodnih nauka za onu nauku, koja im se čini i teška i malo zanimljiva. Neka su poglavlja vrlo opširna, kako to ne nalazimo u sličnim udžbenicima kod drugih naroda. Uzrok je tome, što je kod nas mineraloška literatura toliko nerazvijena, da su slušači mineralogije vezani u glavnom samo za taj udžbenik pogotovo, kad je znanje stranih jezika svakim danom sve slabije, što čini stranu literaturu nepristupačnom. I tako od udžbenika čini ova knjiga neki prelaz priručniku.

Za one, koji bi se htjeli nešto više uputiti u *kristalografiju* i baviti se čak izračunavanjem osnovga odnosa, kutova (uglova) i znakova kristalnih formi, prikazan je na primjerima način toga izračunavanja za sve vrste formi svih kristalnih sustava. Držim, da je ovaj matematički dio kristalografije preko potrebit, ako želimo shvatiti osnovne zakone kristalografije: zakon stalnosti plošnih kutova (uglova), parametara, zona i simetrije, u kojima je sadržan veliki misterij gradje mineralnih tijela — kristala, koji nisu tek neke pravilne, geometrijske forme, nego bića za sebe. Bez rada na goniometru i izračunavanja osnovga odnosa, kutova (uglova) i znakova nema uopće znanja kristalografije.

*U mineralnoj fizici* nešto je opširnije prikazana kristalna optika, da se slušači mogu što lakše baviti mikroskopskim istraživanjem stijena ili mikroskopskom fiziografijom minerala, koja

je od velikoga značaja za upoznavanje postajanja minerala ili samih stijena i za upoznavanje njihove prirode. Ono što je goniometar za upoznavanje prirode kristala, to je mikroskop za upoznavanje fizičkih, kristalografskih, pa više puta i kemijskih svojstava minerala.

Kako su minerali homogena tijela stalnoga kemijskoga sastava, potrebno je znanje *mineralne kemije*; ona će nam otkriti tvorni sastav minerala, njihovu kemijsku gradju, strukturu njihovih molekula. Osobito je zanimljiva među mineralima pojava polimorfije i izomorfije, pa su one zbog toga i nešto opširnije prikazane. Kod upoznavanja minerala često će nam pomoći metode određivanja puhaljkom (duvaljkom) i mikrokemijske reakcije, pa je i o tome nešto više govora negoli je to u drugim udžbenicima.

Da bar donekle udjemo u tajne postajanja minerala u prirodi, prikazano je tek letimično vještačko priredjivanje minerala, njihova sinteza. S te sinteze prešli smo na samu *minerogeniju*, na postajanje minerala pirogenim, pneumatogenim i hidatogenim putem, na njihove metamorfoze, dotaknuvši se mjestimice i postajanja stijena. Gdje je bilo prilike, prikazali smo postajanje minerala na primjerima iz naših krajeva, koje već dugi niz godina obilazim i proučavam.

Naročitu smo pažnju posvetili minerogeniji i zbog toga, što je ona usko povezana sa geokemijom, naukom, koja izučava historiju kemijskih elemenata u Zemljinoj kori za razliku od mineralogije, koja se bavi historijom prirodnih kemijskih spojeva, t. j. molekula—minerala. Nastojali smo da u minerogeniji istaknemo migraciju atoma, njihov kružni tok (na pr. kružni tok fosfora, željeza, kalcija i t. d. kod postajanja apatita, limonita, hematita, kalcita i t. d.) i uticaj žive tvari na postajanje minerala ili na migraciju atoma. Pri tom smo se najviše služili ruskom literaturom, djelima *V. I. Vernadskoga* i *A. E. Fersmana*. Obojici velikih ruskih učenjaka dugujem svaku blagodarnost, što su mi poslali ne samo svoja opsežna i mnoga djela, nego u opće svu mineralošku literaturu, koja je poslije Svjetskoga Rata izašla u Rusiji. Literatura je ta velika i po napredak mineralogije od goleme važnosti. Ističem to i radi toga, ne bi li tako potakao našu omladinu na učenje ruskoga jezika, kojega će znanje otvoriti nove putove k neiscrpljivome vrelu ruske nauke, nauke slavenske.

*O pojavljivanju i rasprostranjenju minerala u Zemljinoj kori* nije rečeno mnogo zbog toga, što iz same minerogenije možemo dobiti dosta jasnu sliku o tom pitanju. *U ekonomskoj mineralo-*

*giji* stalo nam je najviše do toga da prikazemo rudno bogatstvo naše Države. Zato smo iznijeli pregled rudarskoga djelovanja u našim krajevima u historijsko doba. To blago dabome da nije iscrpljeno; ono je još tu, da bude jak potporanj mlade Jugoslavije.

Ovaj je udžbenik rezultat dvadesetgodišnjega rada, koji sam obavljao u terenu i u laboratoriju, uz mikroskop i uz studij mineraloške literature. Koliko je u ovoj knjizi originalnoga, znat će onaj, kome je poznat rad i literatura mineraloška. Tu literaturu u glavnom navodim kod pojedinih poglavlja.

Rukopis prve knjige predan je u štampu Državnoj Štampariji u Beogradu krajem juna 1925., a druge knjige krajem jula 1926. Kako autor zbog udaljenosti nije mogao lično zalaziti u štampariju za vrijeme slaganja i štampanja, uvuklo se u knjigu nekoliko pogrešaka, koje su na kraju knjige u Ispravicima (str. 630.) ispravljene. Molim, da se prije upotrebe knjige ti ispravci unesu na označena mjesta. Kod štampanja ispali su znakovi *minus* na nekim simbolima, najviše u heksagonskom sustavu, što u ispravicima nije unešeno.

Da je do izdanja ove Mineralogije došlo, imam da zahvalim Ministarstvu Prosvjete, koje je svojim rješenjem od 31. jula 1924. PBr. 6260. odlučilo da se štampa u Državnoj Štampariji u Beogradu. Upravnik Državne Štamparije g. Budimović uložio je mnogo brige, da knjiga izađe u što ljepšoj opremi, pa mu i ovim putem izričem svoju veliku hvalu. Još mi je dužnost da zahvalim mojim asistentima g. Luki Mariću i g. Luji Bariću na pomaganju kod obavljanja korektura i g. Zdravku Lorkoviću za crtanje mnogih slika u knjizi. Naročito se zahvaljujem g. Luji Bariću, što je obradio pojedine matematičke primjere u odjelima „Izračunavanje osnoga odnosa, kutova (uglova) i znakova kristalnih formi“ kod pojedinih sustava.

U Zagrebu sredinom februara 1928.

*Fran Tučan.*

# SADRŽAJ.

	Strana
<b>Predgovor</b> .....	VII
<b>Uvod</b> .....	1
1. Minerali izgradjuju koru Zemljinu .....	1
2. Mineral je ili elemenat ili spoj dvaju i više elemenata .....	2
3. Minerali se razlikuju od stijene i od vještačkih kemijskih spojeva .....	3
4. Mineralogija je nauka o mineralima .....	4
<b>Opća mineralogija</b> .....	7
<b>I. Morfologija</b> .....	9
5. Minerali potiču iz nutrine Zemljine .....	9
6. Mineral se prelazeći iz tekućega ili plinovitoga stanja u čvrsto kristalizuje .....	9
7. Kristalizacijom razvija se mineral u poliedar. likovima, u kristalima .....	11
8. Kristali mogu izrasti slobodni ili prirasli .....	16
9. Kristali se mogu razviti u pravilnim ili u razvučenim geometrijskim formama .....	19
10. Mineralna tvar može se pri kristalizaciji razviti i u kristalnim skeletima .....	21
11. Tokom rasteanja mogu se na kristalu razviti nove plohe (pljosni), kojih u početku rasteanja nije bilo .....	23
12. Kristali mogu izrasti u različitoj veličini .....	24
13. Minerali se razvijaju ili kao kristalizovani ili kao kristalasti ..	27
14. Minerali su i amorfni .....	29
<i>Kristalografija ili kristalna geometrija</i> .....	33
15. Plohe (pljosni), bridovi (ivice) i uglovi (rogljevi) sastavljaju kristal ..	34
16. Kristali se mogu razviti ili u jednostavnim formama ili u kombinacijama .....	35
17. Na kristalu su samo kutovi (uglovi) stalni .....	35
18. Pomoću goniometra možemo na kristalu da izmjerimo kutove (uglove) .....	37
19. Kad se na kristalu razvijaju plohe razne vrste, vezane su one medju sobom paralelnim bridovima (ivicama) .....	40
20. Plohe, koje leže paralelno nekom bridu (ivici), čine zonu ..	41
21. Položaj plohe na kristalu određuju kristalne osi .....	42
22. Plohe su na kristalu tako položene, da sijeku osi u nekoj udaljenosti ..	44
23. Svaku kristalnu plohu označujemo nekim znakom ili simbolom ..	48

	Strana
24. Kristali su većinom simetrijski građeni . . . . .	51
25. Kristali se odlikuju i fizičkom i kristalografskom simetrijom, a ne samo geometrijskom . . . . .	56
26. Kristalni modeli i slike služe kao pomagala kod proučavanja geometrijskih svojstava kristala . . . . .	58
27. Kristalne plohe možemo projicirati kao tačke ili kao pravce . . . . .	60
28. Pomoću zona možemo iz poznatih ploha izvesti i druge plohe, što se pojavljuju na kristalu ili su na njemu moguće . . . . .	63
29. Pomoću zonalnih pravila možemo upoznati indekse ploha . . . . .	64
30. Medju kristalima može biti samo sedam vrsta kristalnih forma . . . . .	66
31. Kristalne su se plohe razvile kao piramijske, prizmatske ili pinakoidske plohe . . . . .	67
32. Kristalne forme možemo svrstati u 32 razreda ili u 6 sustava . . . . .	71
33. Kristali mogu biti čitavi ili se gubitkom nekoga elementa simetrije raspadaju u polovine, četvrtine i osmine . . . . .	74
34. Gubitkom ravnina simetrije razvijaju se neki kristali u hemimorfnim formama . . . . .	80
35. Kristalne plohe mogu biti simetrijske i asimetrijske . . . . .	81
36. Kristali su građeni pravilno . . . . .	83
<i>Kristalni sustavi . . . . .</i>	<i>93</i>
37. Teseralni sustav . . . . .	93
38. Hemiedrije teseralnoga sustava . . . . .	100
Izračunavanje kutova (uglova) i znakova teseralnih formi . . . . .	109
39. Tetragonski ili kvadratični sustav . . . . .	122
Izračunavanje osnoga odnosa, kutova (uglova) i znakova kristalnih formi tetragonskoga sustava . . . . .	134
40. Heksagonski sustav . . . . .	140
Izračunavanje osnoga odnosa, kutova (uglova) i znakova kristalnih formi heksagonskoga sustava . . . . .	160
41. Rompski sustav . . . . .	176
Izračunavanje osnoga odnosa, kutova (uglova) i znakova kristalnih formi rompskoga sustava . . . . .	181
42. Monoklinski sustav . . . . .	190
Izračunavanje osnoga odnosa, kutova (uglova) i znakova kristalnih formi monoklinskoga sustava . . . . .	195
43. Triklinski sustav . . . . .	209
Izračunavanje osnoga odnosa, kutova (uglova) i znakova kristalnih formi triklinskoga sustava . . . . .	212
44. Pregled kristalnih sustava i razreda . . . . .	226
45. Kadikad se neki kristali nižega stupnja simetrije približuju svojom formom kristalima višega stupnja simetrije stvarajući tako pseudosimetrijske forme . . . . .	227
<i>Sraslaci ili blizanci . . . . .</i>	<i>228</i>
46. Kristali se pravilno srastu stvarajući tako sraslance (blizance) . . . . .	228
47. Sraslaci mogu da zauzmu jedan spram drugoga različan simetrični položaj . . . . .	231
48. Sraslaci se mogu različito da srastu . . . . .	233

	Strana
49. U sraslac se može da sraste neodređen broj individua . . . . .	234
50. Razvitkom sraslaca može da dodje i do razvitka višega stupnja simetrije . . . . .	236
51. Kristali se paralelno srastu smjerom jedne plohe, koja je ravnina simetrije . . . . .	239
52. Kristali dviju različitih mineralnih tvari mogu se također pravično srasti . . . . .	240
<i>Vanjština kristala . . . . .</i>	<i>242</i>
53. Izvanje prilike utiču znatno na vanjštinu kristala . . . . .	242
54. Lice kristala jednoga te istoga minerala može biti vrlo različito . . . . .	244
55. Površina kristalnih ploha može biti vrlo različita . . . . .	245
<i>Poremećaj homogenosti kristala . . . . .</i>	<i>246</i>
56. Kristali mogu biti sastavljeni od dijelova, koji su kemijski manje ili više različiti . . . . .	247
57. Uklopoci tuđih tvari poremećuju homogenost kristala . . . . .	250
<b>II. Mineralna fizika . . . . .</b>	<b>253</b>
58. Minerali se medju sobom razlikuju specifičnom težinom ili gustinom . . . . .	253
59. Minerali se lome . . . . .	260
60. Minerali se kalaju ili cijepaju . . . . .	261
61. Tlakom mogu u kristalu nastati trajne deformacije . . . . .	266
62. Tlakom mogu kristali da se razvijaju kao sraslaci . . . . .	267
63. Udarcem ili tlakom postaju u kristalima udarne ili tlačne figure . . . . .	268
64. Minerali se odlikuju izvjesnom tvrđinom . . . . .	270
65. Minerali su elastični . . . . .	275
66. Minerali se mogu deformirati i djelovanjem kemijskih sila . . . . .	278
<i>Optička svojstva minerala . . . . .</i>	<i>283</i>
67. Svijetlo je elektromagnetsko gibanje . . . . .	283
68. Sastavljanjem dvaju gibanja u jedno zajedničko gibanje postaje interferencija . . . . .	286
69. Svijetlo se širi u amorfnim i teseralnim mineralima u svim smjerovima jednakom brzinom . . . . .	289
70. Svijetlo se od minerala odražuje . . . . .	290
71. Optički izotropni minerali lome svijetlo jedamput . . . . .	292
72. Minerali mogu potpuno odraziti svijetlo; potpuni odraz ili totalna refleksija . . . . .	295
73. Pomoću totalne refleksije da se odrediti eksponent loma . . . . .	297
74. Svijetlo, koje je ušlo u neki mineral s izvjesnim smjerom, može da s tim smjerom izadje iz minerala, ili se pri izlazu iz minerala ukloni od toga smjera; devijacija svijetla . . . . .	302
75. Kad se svijetlo reflektira i lomi, ono se i polarizuje . . . . .	305
76. Minerali pokazuju kadšto boje, koje postaju interferencijom svijetla . . . . .	307
77. Minerali se odlikuju izvjesnom sjajnošću . . . . .	309
78. Minerali su ili prozirni ili neprozirni, bezbojni ili bojadisani . . . . .	310

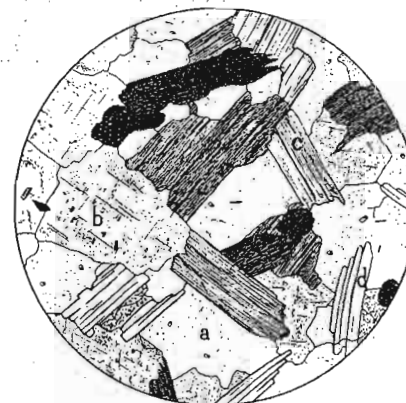
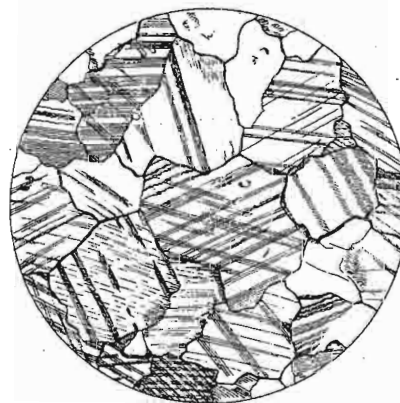
	Strana
79. Minerali smrvljeni u prah pokazuju izvjesnu boju; ogreb minerala	313
80. Neki minerali mogu u izvjesnim prilikama da svijetle . . . . .	313
81. Optički anizotropni minerali lome svjetlo dvostruko; oni su dvolomni . . . . .	315
82. Anizotropni minerali optički su jednoosni ili dvoosni . . . . .	317
83. Tetragonski i heksagonski minerali optički su jednoosni . . . . .	317
84. Rompski, monoklinski i triklinski minerali optički su dvoosni .	326
85. Određivanje eksponenata loma kod optički dvoosnih minerala	332
86. Dvolomni ili optički anizotropni minerali apsorbuju svjetlo u raznim smjerovima raznom jakosti . . . . .	333
87. Optička svojstva minerala istražujemo pomoću polarizacionih sprava . . . . .	336
88. Za mikroskopsko optičko istraživanje treba imati preparate t. zv. izbruske . . . . .	343
89. Različiti minerali različito se ponašaju međ unakrštenim nikolima	345
90. Optički jednoosni minerali, tetragonski i heksagonski, različito se vladaju u paralelnom polarizovanom i u konvergentnom polarizovanom svjetlu . . . . .	349
91. Optički dvoosni minerali, rompski, monoklinski i triklinski, različito se vladaju u polarizovanom paralelnom i u polarizovanom konvergentnom svjetlu . . . . .	355
92. Za tačno upoznavanje dvoosnih minerala potrebno je odrediti i veličinu kuta (ugla) optičkih osi . . . . .	362
93. Neki minerali zakreću ravninu polarizacije na desno ili na lijevo	364
94. Posmatrajući anizotropne minerale među unakrštenim nikolima u paralelnom polarizovanom svjetlu možemo lako raspoznati zasebne individue od sraslaca . . . . .	368
95. Kod nekih minerala možemo kadikad zapaziti da su optički anomalni . . . . .	370
<i>Termička svojstva minerala . . . . .</i>	<i>372</i>
96. Minerali različito apsorbiraju zrake topline . . . . .	372
97. Vodjenje topline u različitim je mineralima različito . . . . .	372
98. Minerali se djelovanjem topline rastežu . . . . .	374
99. Minerali se kod izvjesne temperature tale i ishlapljaju . . . . .	375
100. Temperatura utiče na promjenu strukture minerala . . . . .	377
<i>Magnetička svojstva minerala . . . . .</i>	<i>378</i>
101. Minerali se odlikuju magnetskim svojstvima . . . . .	378
<i>Električna svojstva minerala . . . . .</i>	<i>380</i>
102. Minerali mogu biti električni . . . . .	380
103. Minerali, u kojima ima urana i tora, odlikuju se radioaktivnošću	383
<i>Fiziološka svojstva minerala . . . . .</i>	<i>385</i>
<b>III. Mineralna kemija . . . . .</b>	<b>386</b>
104. Svi do danas poznati kemijski elementi nalaze se među mineralima	388
105. Spajanje elemenata u novo tijelo vrši se po izvjesnim zakonima	398
106. Minerali se pojavljuju u prirodi kao različiti kemijski spojevi .	399

	Strana
107. Voda, koja se nalazi u mineralima, jest kristalna ili konstituci on	403
108. Kemijski sastav minerala prikazujemo kemijskim formulama . . . . .	405
109. Ista mineralna tvar može se kristalizovati u više kristalnih klasa; polimorfni minerali . . . . .	408
110. Minerali, koji su po svom kemijskom sastavu među sobom slični, pojavljuju se i u sličnim kristalnim formama; izomorfni minerali	416
111. Izomorfni minerali mogu se među sobom miješati u različitim omjerima stvarajući pri tom homogene kristale . . . . .	420
112. Mnogi se minerali pojavljuju kao kemijski čista tvar . . . . .	425
113. Izomorfni minerali, koji se pojavljuju kao izomorfne smjese, nisu kemijski čiste tvari, nego su čvrste otopine . . . . .	425
114. Sastavni dijelovi (komponente) izomorfni smjesa ne dolaze uvijek i kao samostalni izomorfni spojevi sami za sebe . . . . .	427
115. Minerale, koji su se razvili kao izomorfne smjese, prikazujemo također kemijskim formulama . . . . .	427
116. Omjer sastavnih dijelova ili komponenata u izomorfnoj smjesi utiče i na njena geometrijska, fizička i kemijska svojstva. Postanak kristala mješanaca . . . . .	429
117. Minerali izomorfno niza mogu se kristalizovati u dvije i više različitih forma . . . . .	443
118. Ulazom tudje tvari u kemijski sastav nekoga minerala mijenja se njegova kristalna forma (morfotropija) i njegova struktura (topotropija) . . . . .	448
119. Neki se minerali različita kemijskoga sastava kristalizuju u sličnim formama; izotipija minerala . . . . .	450
120. Amorfni minerali sastavljeni su često od smjese različitih tvari, koje ne stoje među sobom ni u stalnim višestrukim omjerima niti su jedne u drugima otopljene. Koloidni minerali . . . . .	452
121. Minerali su u različitim toplima različite topljivosti . . . . .	459
<i>Određivanje minerala puhaljkom (duvaljkom) . . . . .</i>	<i>462</i>
122. Minerale možemo upoznati na nekoliko načina . . . . .	462
123. Neke minerale možemo odrediti pomoću mikrokemijskih reakcija	470
124. Neke minerale možemo vještački da priredimo . . . . .	476
<b>IV. Postajanje minerala ili minerogenija . . . . .</b>	<b>487</b>
125. Iz okoline, u kojoj se mineral nalazi, možemo zaključiti, na koji je način postao . . . . .	487
126. Postanak minerala nije ništa drugo nego niz fizičko-kemijskih procesa . . . . .	489
127. Minerali se razvijaju iz taljevinskih otopina; pirogenetski minerali	490
128. Minerali se razvijaju iz plinovitih otopina; pneumatogeni minerali	507
1. Vulkanske ekshalacije i minerali, koji postaju pri tim ekshalacijama . . . . .	508
2. Plutonske ekshalacije i minerali, koji postaju pri tim ekshalacijama . . . . .	514
3. Ekshalacije iz sedimentnih stijena i minerali, koji postaju pri tim ekshalacijama . . . . .	517
129. Minerali se razvijaju iz vodenih otopina; hidatogeni minerali . . . . .	518

	Strana
1. Izlučivanje minerala iz vodene otopine padanjem tlaka i temperature i nestajanjem topila (alkalijskih sulfida) . . .	526
2. Izlučivanje minerala iz vodene otopine nestajanjem ugljične kiseline kao topila . . . . .	527
3. Izlučivanje minerala iz vodene otopine nestajanjem vode kao topila . . . . .	530
4. Izlučivanje minerala iz vodene otopine djelovanjem međusobnih kemijskih reakcija . . . . .	531
5. Izlučivanje minerala iz vodene otopine sudjelovanjem životinja	533
6. Izlučivanje minerala iz vodene otopine djelovanjem procesa gnijilenja organskih tvari . . . . .	537
7. Izlučivanje minerala iz vodene otopine djelovanjem električnih struja . . . . .	539
8. Izlučivanje minerala iz slanih jezera . . . . .	540
9. Izlučivanje minerala iz natrijskih ili sodnih jezera . . . . .	546
10. Izlučivanje minerala iz borakasnih jezera . . . . .	546
130. Minerali se preobražavaju . . . . .	547
131. Voda preobražava mineral ulazeći u njegov kemijski sastav .	547
132. Voda može otopiti mineral, a pri tom ga tvarno ne promijeni	548
133. Voda može otopiti mineral, a pri tom ga tvarno promijeni . .	550
134. Ugljična kiselina pojačava vodi moć otapanja . . . . .	551
135. Kod preobražavanja minerala saradjuje i kisik . . . . .	552
136. Djelovanjem mineralne otopine na čvrste minerale postaju novi minerali . . . . .	555
137. Djelovanjem mineralne otopine na neke sulfide može doći redukcijom do razvitka novih minerala . . . . .	560
138. Kod nestajanja i postajanja minerala saradjuju i neki organizmi	563
139. Kod nestajanja i postajanja minerala dolazi do propasti stijena	564
140. Trošenjem stijene se raspadaju, ali od rastrošenoga materijala postaju nove stijene . . . . .	569
141. Do nestajanja i postajanja minerala dolazi i u dubinama Zemljinim	570
142. Do preobražavanja minerala može doći pri doticaju magme sa susjednom stijenom . . . . .	571
143. Minerali se mogu preobraziti i djelovanjem velikoga tlaka . .	576
144. Kod preobražavanja mogu minerali zadržati prvotnu formu . .	584
145. Neki minerali daju materijal za razvitak okamina . . . . .	588
<b>V. Pojavljivanje i rasprostranjenje minerala u kori Zemljinoj . . . . .</b>	<b>589</b>
146. Mjesto, gdje se mineral nalazi u kori Zemljinoj, jest mineralno ležište . . . . .	589
147. Neki se minerali okupljaju u ležištu po pukotinama i šupljinama stijena . . . . .	590
148. Minerali su različito rasprostranjeni u kori Zemljinoj . . . . .	591
<b>VI. Ekonomska mineralogija . . . . .</b>	<b>593</b>
149. Mineral je preko potrebit za kulturni razvitak čovjeka . . . . .	593
150. Eksploatacija rudnoga blaga u historijsko doba u našim krajevima	594
<b>Alfabetско kazalo . . . . .</b>	<b>603</b>
<b>Ispravci . . . . .</b>	<b>630</b>

## UVOD.

**1. Minerali izgradjuju koru Zemljinu.** Svuda po potocima, što protiču gorskim krajevima, nalazimo gromade stijena; neke su velike, neke male, a ima ih različite boje: bijelih, crnih, zelenkastih, žućkastih, sivkastih, modrušastih; ima ih svakojakih. Voda protiče pokraj njih i preko njih, kadikad ih zahvati jačom snagom pa ih ponese niz korito. Odavna su u potoku, no nisu oduvijek. Survale su se sa obronaka, gdje su od davnina izgradjivale kamenite dijelove kore Zemljine. Odbijmo komadić od takve gromade pa će nam možda uspjeti da već golim okom zapazimo, kako je puna nekog sitnog zrnja i blistavih listića srebrnastih i crnih; to je granit. A možda svega toga ne ćemo vidjeti, nego je u našoj ruci gust, tvrd komad stijene, svagdje jednoličan, svagdje jednako sastavljen; to je gusti vapnenjak (krečnjak). Ali to je tek na oko tako. Kad bismo pomoću mikroskopa posmatrali tanašnu pločicu načinjenu od te guste stijene, vidjeli bismo, da je i ona sastavljena od sitna zrnja. Šta je to zrnje, šta su oni blistavi listići? Minerali<sup>1)</sup>. I svaka stijena, bila zrnasta ili gusta, sastavljena je od samih



Sl. 1. Krečnjak, koji je sastavljen od bezbroja individua jednog jedinog minerala, kalcita; posmatran pod mikroskopom.

Sl. 2. Granit, koji je sastavljen od kremenca (a), glinenca (b), biotita (c) i muskovita (d); posmatran pod mikroskopom.

<sup>1)</sup> Od lat. *mineralis*, ono, što pripada rudniku.



minerala. Neke stijene na pr. vapnenjak (krečnjak) ili gips sastavljene su od bezbroja sitna zrnja jednoga jedinoga minerala (sl. 1.), a neke, na pr. granit ili sijenit, od bezbroja sitna zrnja, listića, stubića više minerala (sl. 2.). Minerali dakle sastavljaju stijene, a kako je od stijena izgrađena kora Zemljina, minerali izgrađuju koru Zemljinu. Velimo zato: *minerali su sastavni dijelovi kore Zemljine.*

Prema tome je za povijest razvitka minerala vezana i povijest razvitka kore Zemljine. Govoreći o postajanju minerala govorimo zapravo o postajanju kore Zemljine, koja je podloga svemu živome, iz koje sve živo crpa hranu ili posredno ili neposredno za svoje održanje.

**2. Mineral je ili elemenat ili spoj dvaju ili više elemenata.** Kako su stijene sastavljene od bezbroja individua jednoga ili više minerala, tako je mineral sastavljen od bezbroja atoma jednoga ili više elemenata. Dijamant je na pr. sastavljen od bezbroja atoma jednoga jedinoga elementa, od ugljika C, a kremen (kvarc) od bezbroja atoma tvrda srebrolika silicija Si i od bezbroja atoma nevidljiva plina kisika O. Drugi neki minerali sastavljeni su od još više elemenata; tako na pr. turmalin zna biti sastavljen od 13 različitih elemenata, od silicija Si, kisika O, aluminijska Al, željeza Fe, kroma Cr, mangana Mn, magnezija Mg, kalcija Ca, kalija K, natrija Na, litija Li, bora B, fluora F. Svi su ti elementi zašli u međusobne kemijske spojeve tako, da *minerali predstavljaju tijela izvjesnoga kemijskoga sastava, koji se da izraziti kemijskom formulom* (108).

Kemijski sastav nekoga minerala uvijek je stalan. Kad bismo htjeli da kemijski istražimo na pr. kremen (kvarc) ma iz koje stijene i ma sa kojeg nalazišta na svijetu, uvijek bismo našli, da je sastavljen od 46,73 dijela silicija i 53,27 dijelova kisika, dakle da je uvijek stalnoga kemijskoga sastava. Kremena (kvarca), koji bi imao neki drugi kemijski sastav, nema na svijetu. Stalnost kemijskoga sastava očituje se još i u tome, da je mineral svagdje i u najsitnijoj svojoj čestici kemijski jednako gradjen, da je u svakoj svojoj i najsitnijoj čestici iste kemijske prirode, pa velimo za tako kemijski sastavljene minerale, da su kemijski homogeni<sup>1)</sup>. Kemijski homogeni minerali i fizički su homogeni, t. j. u svakoj svojoj i najsitnijoj čestici imaju ista fizička svojstva, iste su fizičke prirode; *minerali se dakle odlikuju homogenošću.*

Cesto homogenost minerala zna biti poremećena (56,57). Nije to ni čudo, kad znamo, u kakvim se sve prilikama mineral razvija. Iz kremene (kvarcne) tvari razvio bi se čist kremen (kvarc), ali taj se razvitak vrši u okolini, u kojoj ima i drugih mineralnih tvari pa već i gotovih minerala, koje kremen pri svom rastenju u sebe primi; te tuđe tvari ili uklopci poremećuju u neku ruku homogenost kremena. Kad bismo pomoću mikroskopa posmatrali kremen izbrušen u tanašnu pločicu, vidjeli bismo u njem sitne

<sup>1)</sup> Od grč. *homós*, jednak i *gēnesis*, postanak.

iglice cirkona, vlakanca rutila, mjehuriće sa pomičnim libelama, što je znak, da se u kremenu nalaze sićušne kapljice neke tekućine (vode i ugljične kiseline), našli bismo u njem možda po koji listić tinjca (liskuna), kristaliće apatita, turmalina i t. d. (sl. 3.). A tako se događa i drugim mineralima. Zato uvijek, kad neki mineral kemijski istražujemo, moramo tačno ispitati njegovu homogenost, njegovu čistoću.



Sl. 3. Kremen sa uklopcima; posmatran pod mikroskopom.

U stvari se ipak i sa ovim tuđim primjesinama nije poremetila homogenost minerala; mineralna substancija kao takova ostala je potpuno homogena, jer one tuđe mineralne tvari same za sebe potpuno su homogene kao što je potpuno homogena sama za sebe i ona mineralna substancija, u kojoj su uklopljene tuđe tvari.

Ovako od jednoga ili više elemenata sastavljeni minerali pojavljuju se u kamenoj kori Zemljinoj najviše kao čvrsta tijela. Neobično je malo minerala, koji su tekući; takvi su minerali na pr. živa i voda.

**3. Minerali se razlikuju od stijene i od vještačkih kemijskih spojeva.** Iz ovoga, što smo do sada saznali, možemo postaviti ovu definiciju: *mineral je sastavni dio kamene kore Zemljine, a pojavljuje se kao čvrsto, rijetko kao tekuće homogeno tijelo stalnoga kemijskoga sastava, koji se da izraziti kemijskom formulom.* Ovom definicijom tačno smo odijelili mineral od stijene i od onih kemijskih spojeva, koje je uspjelo čovjeku u svom laboratoriju sastaviti. Od stijene se razlikuje po tom, što je ona stalan agregat<sup>1)</sup> jednoga ili više minerala, ali nije homogena i kolebljivoga je kemijskoga sastava tako, da se taj sastav ne može nikako izraziti kemijskom formulom. Od kemijskih spojeva, što ih je čovjek sastavio u svom laboratoriju, razlikuju se samo po tom, što ti spojevi nisu sastavni dijelovi kamene kore Zemljine. Tako je na pr. šećer homogeno čvrsto tijelo stalnoga kemijskoga sastava, koji se da izraziti kemijskom formulom; ali kako šećer nije sastavni dio kamene kore Zemljine, ne možemo ga smatrati mineralom.

Čovjeku je uspjelo da uz izvjesne prilike kadikad tačno oponaša prirodu, pa je napravio i takove spojeve, kemijska tijela, koja su u svemu jednaka nekim mineralima. Njemu je uspjelo na pr. napraviti dijamante, koji su posve jednaki prirodnim dijamantima; pošlo mu je za rukom da

<sup>1)</sup> Od lat. *aggregare*, nagomilati.

sintetičkim<sup>1)</sup> putem dobije rubine, vrstu korunda, koji su po svojim kristalografskim, kemijskim i fizičkim svojstvima posve jednaki prirodnim rubinima; pa ipak te čovjekove tvorevine ne mećemo među minerale, jer im nije kolijevka u kamenoj kori, nego u čovjekovu laboratoriju. Ali kako su posve jednaki prirodnim mineralima, moramo i njih zvati mineralima, pa ih zovemo, za razliku od prirodnih minerala, *sintetičkim mineralima*.

One minerale, iz kojih čovjek dobiva neke metale, što mu služe u industrijske, tehničke i druge gospodarske svrhe, zovemo *rudama* ili *rudama*. Ruda je na pr. galenit, jer iz nje dobiva čovjek metal olovo, a sumpor je mineral, jer iz njega čovjek ne dobiva nikakav metal.

**4. Mineralogija je nauka o mineralima.** Kazali smo, da je mineral sastavni dio kore Zemljine; sva je ta kora sastavljena od samih minerala, koji su osnova svemu živome: biljci i životinji. Da biljka nema na pr. željeza, kalija, fosfora i još nekih drugih elemenata, ona bi brzo uginula. Otkuda da ih namakne? Samo iz kore Zemljine, u koju pušta korjenčice svoje, da iz minerala crpa hranu za izgradnju tijela svoga. Kako su minerali osnova biljci, tako je biljka osnova životinji i posredovanjem biljke zalaze mineralne tvari u životinju, bez kojih i njoj nema opstanka. Pa kad je mineral tako važan činilac za život na Zemlji, valja da se dobro upoznamo s njim. A kad ga upoznamo, otvorit će se pred nama nov svijet, svijet harmonije i ljepote, u kom vladaju stalni zakoni, kojima se pokoravaju sićušna tjelešca, od kojih je sagrađeno tijelo minerala; pred nama će se pojaviti svijet tajni jednako veličajan, kao što je veličajna i vasiona sa svim svojim sjajnim zvjezdama.

U to mineralno carstvo uvest će nas *mineralogija*<sup>2)</sup>, nauka o mineralima, koja ima zadaću da proučava prirodu njihovu, da iznese onaj sklad, što postoji među unutrašnjom gradnjom (strukturom) minerala i svim njegovim svojstvima, koja su samo odraz te unutrašnje gradje.

Nakon svoga razvitka primi mineral neku formu; i te forme proučava mineralogija; onaj ogranak mineralogije, koji se bavi formom ruda, zove se *morfoloģija*<sup>3)</sup>. Te su forme kadikad nepravilne, slučajne, no većinom su pravilni geometrijski likovi. Kako ti geometrijski likovi nisu slučajni već su posljedica nekih zakona, koji vladaju unutrašnjom gradnjom (strukturom) minerala, ispituje mineralogija forme tih likova, jer su one za svaki mineral iste vrste stalne pa zato i vrlo značajne; onaj dio mineralogije, koji proučava geometrijske forme minerala zove se *kristalografija*<sup>4)</sup>. Kako unutrašnja gradnja minerala utiče na njegove spoljašnje geometrijske forme, utiče ona tako i na njegova fizička svojstva, a kako su i ta svojstva za svaki mineral iste

<sup>1)</sup> grč. *synlithemi*, spajati.

<sup>2)</sup> Od lat. *minerals*, ono, što pripada rudniku i od grč. *lógos*, nauka.

<sup>3)</sup> Od grč. *mórfhē*, oblik.

<sup>4)</sup> Od grč. *krýstallos*, led, kristal i *gráphein*, opisivati. Vidi i bilješku 1. na strani 13.

vrste stalna i karakteristična, valja da ih mineralogija prouči; onaj ogranak mineralogije, koji se bavi fizičkim svojstvima minerala, zove se *mineralna fizika*<sup>1)</sup>. Jednako se minerali odlikuju i kemijskim svojstvima, a ona opet stoje — baš kao geometrijska i fizička — do unutrašnje gradje minerala, te su i ona za svaki mineral iste vrste stalna i karakteristična; ta svojstva proučava onaj dio mineralogije, koji se zove *mineralna kemija*.

Minerali postaju i nestaju; oni se razvijaju. Od sićušne mineralne klice izrastu do lijepa kristala. Kako teče taj njihov razvitak, koji zakoni njima upravljaju, na to nam odgovara *minerogenija*<sup>2)</sup> ili nauka o postajanju minerala. Poseban je ogranak mineralogije, koji se bavi pojavljivanjem i rasprostranjenjem minerala u kori Zemljinoj; taj ogranak zovemo naukom o *mineralnim ležištima*. U takim ležištima zapremaju minerali veće ili manje prostore, u njima otvara čovjek rudnike, da iz njih izvadi minerale i upotrebi ih u svoju korist. Koji su to minerali, koje čovjek treba i kako mu oni služe, o tom govori onaj dio mineralogije, koji se zove *ekonomska mineralogija*. Ovi ogranci mineralogije obuhvataju svojstva minerala uopće, pa radi toga čine zajedno onaj dio mineralogije, koje zovemo *općom mineralogijom*. Ali mineralogija posvećuje osobitu pažnju i pojedinim mineralima, proučava geometrijska, fizička i kemijska svojstva svakoga minerala napose, bavi se prirodom specijalno neke mineralne vrste; taj dio mineralogije zovemo *specijalnom mineralogijom*. Kako se u specijalnoj mineralogiji izučavaju svojstva, priroda pojedinih minerala, bavi se specijalna mineralogija *fiziografijom minerala*. Pri tom proučavanju svrstavamo minerale po nekim njihovim osobinama u odjeljke, redove, sisteme i tako uz fiziografiju obuhvata specijalna mineralogija i *sistematiku minerala*.

Ako uočimo sve ovo, čim se mineralogija bavi proučavajući minerale, bit će nam jasno, da je za uspješno proučavanje minerala potrebno znanje geometrije, naročito analitične geometrije, te ravne i sferne trigonometrije (za istraživanje i preračunavanje kristalnih forma minerala), zatim znanje fizike, naročito optike. Kemijsko istraživanje minerala znatno nas upoznaje s prirodom njihovom, njihovim tvarnim sastavom, pa s njihovim postankom i s njihovim metamorfozama. Praktičnim radom u laboratoriju i u prirodi najviše ćemo naučiti.

<sup>1)</sup> Od grč. *phýsis*, priroda.

<sup>2)</sup> Od grč. *génésis*, postanak.

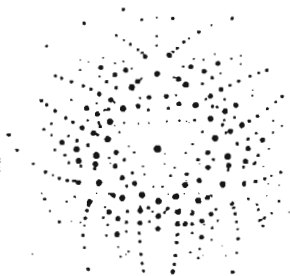
## OPĆA MINERALOGIJA.

## I. MORFOLOGIJA. *Voda do mineralne*

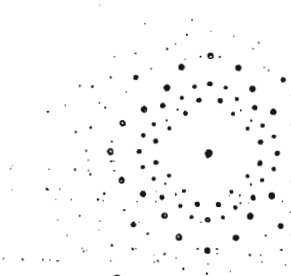
**5. Minerali potiču iz nutrine Zemljine.** Minerali nisu oduvijek i neće biti dugo; imaju i oni svoj početak i svršetak, svoj postanak i nestanak, za koje je vezana povijest njihova razvitka. Danas su to većinom čvrsta tijela, a nekad su bila ili rastaljena, žitka tvar (taljevina) ili vodena otopina ili plin (gas) i para. Iz dalekih, nepoznatih dubina Zemlje vuku lozu svoju, u tim dubinama iskon je njihov, njihovo porijeklo. Za vulkanskih provala izlazi iz nutrine Zemljine rastaljena utroba njena i dopire prema površini; iz te taljevine, koja je sastavljena od onih tvari, od kojih su sastavljeni i minerali, razvit će se mineral. S taljevinom dopiru u koru Zemljinu plinovi i pare; ti plinovi i pare sastavljeni su također od tvari, od kojih je sagradjen po koji mineral; u koru Zemljinu dopire voda ili iz dubina, iz kojih dopire taljevina, plinovi i pare ili sa površine Zemljine. Ta se voda namjerila na svom putu negdje na mineralne tvari, otopila ih i nosi ih otopljene sa sobom. U taljevini, vodi, plinu i pari nalazi se dakle mineralna tvar, koja će u zgodnim prilikama prijeći iz tekućega ili plinovitoga stanja u čvrsto, u mineral.

**6. Mineral se prelazeći iz tekućega ili plinovitoga stanja u čvrsto kristalizuje.** U taljevini, u plinu i pari, u vodenoj otopini nalazi se mineralna tvar raširena u sićušnim česticama, koje se gibaju na sve strane; te su čestice u neprestanom komešanju i zato medju njima nema nikakva pravilna poredjaja. Tako je to dok se taljevina, tekućina, plin i para nalazi u povoljnim prilikama, koje dopuštaju da se mineralne čestice na sve strane gibaju i medju sobom komešaju. Ali kad se te prilike stanu mijenjati, kad na pr. kod taljevine stane padati temperatura, koja je držala čestice u gibanju i komešanju, počinju mineralne čestice napuštati svoje dotadanje lutanje i tumananje, svrstavaju se u pravilne redove i nizove; žitka tvar prelazi u čvrstu, ona se kristalizuje. *Kristalizacija se dakle očituje u pravilnom poredjaju mineralnih čestica (atoma)* i o tom poredjaju zavise sva svojstva minerala: geometrijska, fizička i kemijska, a kako taj poredjaj može biti raznolik, tako su raznolika i svojstva minerala. Čestice neke mineralne tvari zauzimaju pri kristalizaciji uvijek tačno odredjeni poredjaj, zato svaki mineral iste vrste ima uvijek i ista svojstva, koja su različita od svojstava minerala druge vrste. Kalcit se na pr. odlikuje svojstvima,

koja su posve drugačija od svojstava kamene soli, ali su zato i atomi kalcitove tvari zauzeli posve drugi položaj, koji ni u čemu ne naliči položaju atoma u kamenoj soli (sl. 4., 5.).

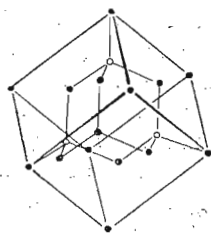


Sl. 4. Pravilan poredjaj atoma u kalcitu; nadjen pomoću Röntgenovih zraka.

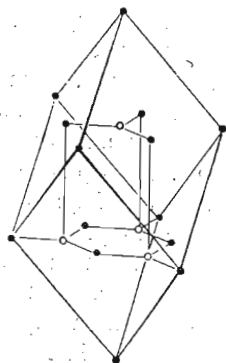


Sl. 5. Pravilan poredjaj atoma u kamenoj soli; nadjen pomoću Röntgenovih zraka.

Da baš poredjaj atoma upravlja svojstvima minerala, da baš o njem zavisi, u kakvom će se liku mineral očitovati, pokazuje nam najljepše ugljikova tvar, element ugljik C. Kod njegove kristalizacije, kod prelaza iz tekućega stanja u kruto, redjaju se njegovi atomi, uz neke prilike, u takove nizove, da se nakon dovršene kristalizacije očituje ugljikova tvar kao mi-



Sl. 6. Pravilan poredjaj ugljikovih atoma u dijamantu.



Sl. 7. Pravilan poredjaj ugljikovih atoma u grafitu.

neral dijamant (sl. 6.). Ali pri kristalizaciji te iste ugljikove tvari mogu da vladaju neke druge prilike negoli pri kristalizaciji dijamanta; atomi ugljikove tvari zauzet će opet pravilan položaj (sl. 7.), no drugačiji negoli u dijamantu

i ugljik će prijeći u čvrstu kristalizovanu tvar, u mineral grafit. Dijamant i grafit tvorno su posve jednaki, ali im je unutrašnja gradnja (struktura) različita, pa otuda i njihova različita svojstva; od jedne te iste tvari dva različita minerala (109).

**7. Kristalizacijom razvija se mineral u poliedarskim likovima, u kristalima.** Govoreći o kristalizaciji ugljikove tvari istaknuli smo, kako je pravilan poredjaj njegovih atoma, dakle unutrašnja gradnja (struktura), uzrok, da se ugljik pojavljuje jednom kao dijamant drugi put kao grafit. Pojava nas ta podsjeća na pojave, što ih zapažamo u našem svakidašnjem životu kod graditelja. I graditelj će iz istih opeka i ista tesana kamena zgodnim poredjajem sagraditi najrazličitije građevine. Kako će Graditelj vasiono iz sićušnih čestica sagraditi kristalizovani mineral, toj tajni nastoji čovjek da se dovine, pa saznanje o tom stiče iz opažanja i proučavanja toka same kristalizacije.

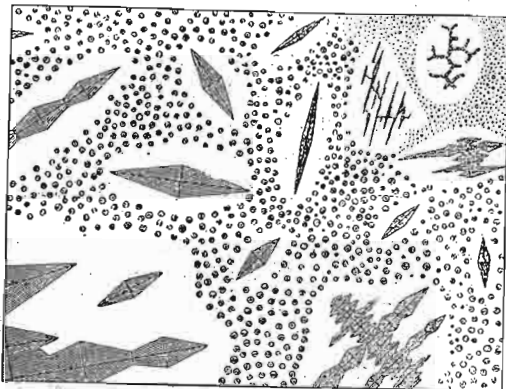
Kristalizacija počinje prelazenjem tekuće ili plinovite tvari u čvrstu djelovanjem izvanjih sila, sila fizičko-kemijskih (temperatura, tlak, kemijski sastav i priroda otopine). Sam početak kristalizacije, dakle postanak kristala nije nam poznat i ne možemo ga posmatrati. Mineralne čestice, atomi, koji se okupljaju u pravilne redove, da sagrade tijelo kristala, tako su sićušni, da ih ne možemo nikakvim aparatom posmatrati, kako se okupljaju u kristal. U prezasićenoj mineralnoj otopini, koja je podobna da se kristalizuje, pojave se nenadano tu i tamo sitni gotovi kristalići, čije rastenje dakako možemo sada posmatrati, možemo vidjeti, kako bivaju sve veći i veći. Pred nama se pojavljuju dakle već gotovi kristali, ali njihov zametak, njihov početak ostao je za nas tajna.

Kao početno stanje kristalizacije mogli bismo u neku ruku shvatiti Vögelsangove *globulite*<sup>1)</sup>, koje je on posmatrao pri kristalizaciji sumpora: Ako otopimo sumpor u sumpornome ugljiku i tu otopinu izmiješamo sa otopinom kanadskog balzama, pa je pustimo da se isparuje na objektnom stakalcu, vidjet ćemo pomoću mikroskopa, kako se počinju doskora izlučivati iz otopine sitne žute kuglice, koje jako lome svjetlo; to su prezasićene kapljice sumporne otopine. Dok je u otopini prilično sumpornoga ugljika, one su tekuće; kako ishlapljuje sumporni ugljik, bivaju gušće, žilavije, dok ne postanu najposlije posve čvrste propuštajući dosta svjetla tako, da su providne. Te sumporne kuglice, koje su amorfne, nazvao je Vögelsang globulitima (sl. 8.). Dok je otopina tekuća, dok je u dostatnom gibanju, da se u njoj mogu razvijati strujanja, gibaju se u njoj globuliti i struje ih nose na razne strane; negdje se tako sakupe u nepravilne gomilice, u t. zv. *kumulite*<sup>2)</sup> (sl. 9.) ili se redjaju poput gjerđana u nizove, u

<sup>1)</sup> Od lat. *globulus*, kuglica.

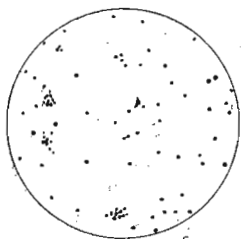
<sup>2)</sup> Od lat. *cumulus*, gomila.

t. zv. *margarite*<sup>1)</sup> (sl. 10.), ili se radijalno sakupe u t. zv. *globosferite*<sup>2)</sup>. Ako su globuliti još u tekućem stanju, mogu pri gibanju i strujanju u otopini

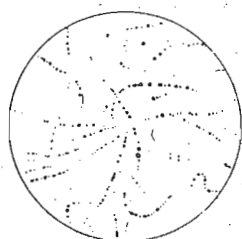


Sl. 8. Globuliti i sitni kristali sumpora; oko kristala kristalizaciono polje.

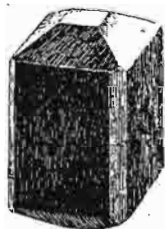
doći u dodir jedan s drugim, pa se pri tom sliju u jedan veći globulit ili pri tom slijevanju prime formu cilindričnu, čunjastu, klinastu sa svinutim plohama (pljosnima); tako pretočene globulite zove Vogelsang *longulitima*<sup>3)</sup>. Globuliti i longuliti kao i njihove različite agregacije nemaju osobina kristala; Vogelsang ih je nazvao zajedničkim imenom *kristaliti*<sup>4)</sup>. Oni su početan stadij kristalizacije, neki prelaz u kristalizaciono stanje; nalazimo



Sl. 9. Kumuliti.



Sl. 10. Margariti.



Sl. 11. Kristal vezuvijana.

ih u nekim troskama (zgurama), što postaju u visokim pećima pri istaljanju ruda, pa u vulkanskim stijenama.

<sup>1)</sup> Od grč. *margarites*, zrno biserovo.

<sup>2)</sup> Od grč. *sphaira*, kugla.

<sup>3)</sup> Od lat. *longulus*, dugoljast.

<sup>4)</sup> H. Rosenbusch: Mikroskopische Physiographie der Mineralien und Gesteine, Bd. 1. pag. 769. Fünfte völlig umgestaltete Auflage von E. A. Wülfing. Stuttgart 1924.

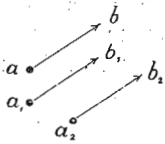
Sam početak kristalizacije zamišljamo tako, da se u mineralnoj otopini pojave tu i tamo prve čestice, koje su prestale da se slobodno gibaju budi radi sniženja temperature, budi radi prezasićenosti otopine ili poradi kojega drugoga fizičkoga ili kemijskoga uzroka. Te čestice postaju kao neka središta kristalizacije, te privlačivom silom svojom djeluju na čestice, koje se u njihovoj najbližoj okolini gibaju na sve strane slobodno. Oko tih čestica, koje možemo smatrati kristalnim klicama ili zamecima, slažu se u pravilne nizove i ostale čestice, koje djeluju jedne na druge privlačivom silom i tako se drže medju sobom u ravnoteži; to pravilno slaganje mineralnih čestica oko klice kao oko neke jezgre *ne teče u svim smjerovima jednakom brzinom*; u nekim je smjerovima brže, u nekima sporije. Kod toga nejednakoga slaganja ili rastenja mineralne tvari *brzina je rastenja u svim paralelnim smjerovima jednaka, mineral raste u tim paralelnim smjerovima sa ravnim plohama (pljosnima)* te će konačno izrasti kao tijelo, koje je omedjeno ravnim, razno položenim plohama. To tijelo poliedarskoga lika a pravilne unutrašnje gradje, koje je omedjeno ravnim plohama, što su različito položene, zovemo *kristalom*<sup>1)</sup> (sl. 11.). Kristal je dakle prirodna posljedica rastenja, koje je u svim paralelnim smjerovima jednako ili, što je isto, koje je u istim smjerovima isto, u različitim smjerovima različito. Kad to ne bi bilo tako, nego kad bi rasteње neke mineralne tvari bilo u svim smjerovima jednako, ne bi došlo do razvitka poliedra, nego do razvitka kugle.

Kristal kao poliedarsko tijelo pravilne unutrašnje gradje kemijski je i fizički potpuno homogen; fizička homogenost njegova očituje se u tom, da je u svakom svom dijelu, u svakoj svojoj čestici u istim smjerovima istih, u raznim smjerovima različitih fizičkih svojstava. Pošto su fizička svojstva kristala zavisna o smjeru, velimo, da je kristal homogeno anizotropno<sup>2)</sup> tijelo. Prema tome je svaka homogena anizotropna tvar kristalizovana; kako se u njoj mijenjaju smjerovi, tako se s tih smjerovima mijenjaju i njezina fizička svojstva. U anizotropnoj homogenoj tvari, dakle u kristalizovanoj, fizička su svojstva u svim paralelnim smjerovima uvijek ista. Ako uzmemo u kristalizovanoj tvari (sl. 12.) tri tačke  $a$ ,  $a_1$  i  $a_2$  pa ispitujemo u smjeru  $ab$  i  $a_1 b$ , koje god fizičko svojstvo, naći ćemo, da je ono u jednom i drugom smjeru potpuno jednako. Neka koji dio pravca  $ab$  prikazuje veličinu izvjesnoga fizičkoga svojstva u smjeru  $ab$ . Istražujući to svojstvo iz tačke  $a$  u raznim smjerovima, naći ćemo, da ono ima u svakom tom smjeru različitu veličinu (sl. 13.). Sakupimo li sve di-

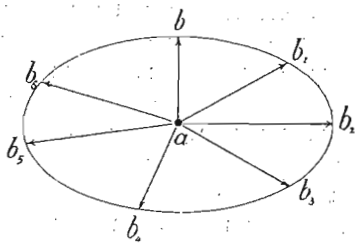
<sup>1)</sup> Od grč. *krystallos*, koji se prvi put nalazi kod Homera u značenju željeza. Kasnije je Plato upotrijebio riječ *krystallos* za kremen prozirac (gorski kristal). U srednjem vijeku stali su kristalom zvati svaki mineral, koji je imao izvjesnu prirodnu formu. Kepler je zvao kristalima čvrste tvari, koje su imale formu poliedra.

<sup>2)</sup> Od grč.  $\acute{\alpha}$ , bez *isos*, jednak i *trópos*, smjer.

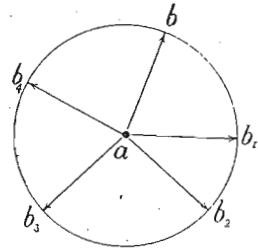
jelove tih pravaca, kojima je ishodište u tački  $a$ , dobit ćemo svežnjic dijelova pravaca. Komade tih pravaca, koji prikazuju izvjesno fizičko svojstvo i koji imaju izvjesnu veličinu i smjer, zovemo *vektori*<sup>1)</sup>. Prema tome dakle



Sl. 12.



Sl. 13.



Sl. 14.

u homogenoj anizotropnoj tvari različiti smjerovi ili vektori nisu jednaki, pa velimo za svako homogeno anizotropno, dakle kristalizovano tijelo, da se odlikuje vektorijalnom gradnjom ili vektorijalnim svojstvima.

Svaki vektor ima početnu tačku, u našem slučaju tačku  $a$ , i krajnju tačku. Ako spojimo sve krajnje tačke vektora, dobit ćemo neku površinu (sl. 13.), koja izražuje dato fizičko svojstvo u tvari, što je istražujemo. Kako su fizička svojstva tvari različita, bit će i površina, koju ćemo dobiti spajanjem krajeva vektora različita, ali nikada ne će imati formu kugle<sup>2)</sup>.

Kristalizovana tvar i ako se odlikuje vektorijalnim svojstvima ili anizotropijom, može da bude za neka fizička svojstva izotropna, t. j. ima u kristalizovanoj tvari fizičkih svojstava, koja su nezavisna o smjeru. Ako uzmemo za takvo svojstvo u kristalizovanom tijelu ma koju tačku  $a$  (sl. 14.) pa ispitujemo u kojem god smjeru dato fizičko svojstvo, naći ćemo, da je ono u svim tim smjerovima jednako. Neka dio pravca  $ab$  prikazuje veličinu datoga fizičkoga svojstva u smjeru  $ab$ , to će svi ti dijelovi polazeći iz tačke  $a$  imati istu dužinu. Spojimo li krajnje tačke tih pravaca, dobit ćemo površinu, koja će imati formu kugle (sl. 14.). Fizička svojstva, koja su nezavisna o smjeru u tvari, zovemo *skalarna svojstva*. I ako dakle ima kristalizovanih tvari, koje se odlikuju skalarnim svojstvima, koje su dakle za ta svojstva izotropne, ipak se ta izotropija odnosi samo na neka, ali ne na sva fizička svojstva. Tako su na pr. teseralni minerali za svijetlo, toplinu, elektricitetu izotropni, a ostali su kristalizovani minerali za te pojave anizotropni. Prema tome je svijetlo, toplina, elektricitetu u teseralnom mineralu skalarno, a u drugim kristalizovanim mineralima vektorijalno svojstvo. Za svojstvo rasteinja i kohezije svi su kristali anizotropni; rasteinje i kohezija

<sup>1)</sup> Od lat. *vehere*, voditi.

<sup>2)</sup> Д. Н. Артемьев: Кристаллография. Том I. кристалл и его симметрия, pag. 5 Berlin 1923.

je dakle u kristalizovanom mineralu uvijek vektorijalno svojstvo. Specifična težina u svim je kristalima skalarna, jer je nezavisna o smjeru.

Mineralna tvar pojavljuje se kao kristalizovano tijelo, kao kristal. No svaki kristal po onome, što smo do sada govorili, nije ujedno i mineral; t. j. ima homogenih anizotropnih tvari, dakle kristala, koji nisu sastavni dijelovi čvrste kore Zemljine, nisu dakle minerali. Kristalografija kao ogranak mineralogije ispituje i te kristale, proučava njihova geometrijska i fizička svojstva i njihovu strukturu. Mineralogija na taj način proširuje svoje djelovanje i izvan mineraloškoga polja.

Kristal kao poliedarsko tijelo predstavlja uvijek kristalni individuum. Forma njegova mora biti posljedica njegova rasteinja, mora biti *od iskona* i za tvar, koja se kristalizuje, *bitna*. Tako na pr. kocka od kremenja (kvarca), koju bismo napravili iz kremenova kristala, nije kristal ili kristalni individuum, ma da je poliedarsko tijelo pravilne unutrašnje gradnje; ta forma naime nije od iskona, nije posljedica kremenova rasteinja; to nije kristalni individuum nego tek komad kristala. Isto tako ne možemo smatrati kristalom ili kristalnim individuum kalotinu (cijepotinu) kojega kristala, na pr. kalotinu kalcita, ma da je poliedarsko tijelo, pravilne unutrašnje strukture, jer ta forma nije od iskona i nije posljedica kristalova rasteinja nego kalanja (cijepanja, 58). Neki se minerali znadu pojaviti kao pseudomorfoze u poliedarskoj formi, koju ne možemo smatrati kristalom ili kristalnim individuum. Hematit se na pr. može pojaviti u formi pentagonskoga dodekaedra, ali kako ta forma nije bitna za hematitnu tvar, koja se kristalizuje heksagonski, ne može to biti kristal ili kristalni individuum nego je agregat od silesije hematitnih individua ili kristala<sup>1)</sup>.

Njemački fizik *O. Lehmann* istražujući osobine nekih, naročito organskih spojeva, našao je da oni i u *tekućem stanju* imaju neka svojstva vektorijalna, da se odlikuju dakle anizotropijom. Posmatrajući ih naime pomoću

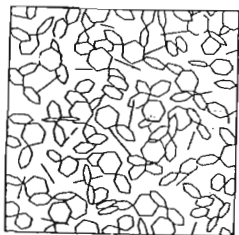


Sl. 15. „Tekući kristali“ amonijskoga oleata.

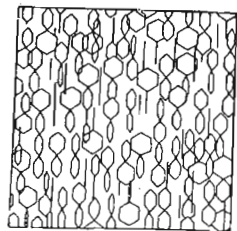
mikroskopa u polarizovanom svijetlu med unakrštenim nikolima, pokazuju ti spojevi, ma da tekući, jasan dvolom kao većina kristalizovanih tvari; ti su spojevi za pojave svijetla anizotropni, pa ih je Lehmann nazvao *tekućim*

<sup>1)</sup> *J. W. Retgers*: Zur Definition des Begriffes „Kristall“. Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie, Bd. II. 1895., pag. 167.

*kristalima*. „Tekući kristali“ u dodiru jedan s drugim sliju se u jedan individuuum, kao što se pri dodiru dvije kapljice vode sliju u jednu kapljicu. Tako se na pr. piramidski kristali amonijskoga oleata pri dodiru sliju u jedan individuuum, koji je potpuno homogen i anizotropan (sl. 15.), o čemu se možemo osvjedočiti posmatrajući ga pomoću polarizacionoga mikroskopa med unakrštenim nikolima<sup>1)</sup>. Ali u tekućim tvarima ne mogu se mineralne čestice, atomi, nalaziti u pravilnom poredjaju (sl. 16.), koji je bitna osobina svakoga kristala. U „tekućim kristalima“ molekule su tek donekle zauzele pravilnu orijentaciju medju sobom, često su se svrstale i u paralelan niz (sl. 17.), pa tako pokazuju anizotropiju, koja je osobina svake poje-



Sl. 16. Šematski poredjaj molekula u tekućoj tvari.



Sl. 17. Šematski poredjaj molekula u „tekućim kristalima“.

dine molekule u „tekućem kristalu“. Proučavajući strukturu „tekućih kristala“ s pomoću Röntgenovih zraka, pokazuju se oni jednaki „amorfni“ tvarima. Prema tome „tekući kristali“ nisu kristali, nego najviše prelaz ka kristalima<sup>2)</sup>.

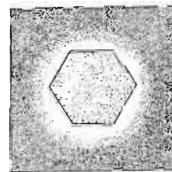
**8. Kristali mogu izrasti slobodni ili prirasli.** Kristali rastu; to rastenje stoji u pravilnom redanju mineralnih čestica i to tako, da redanje teče u jednom smjeru brže, u drugom sporije. Ali samo rastenje zavisi o mnogo činilaca, koji utiču na vanjsko lice kristala. Kad se u nekoj prezasićenoj otopini pojave prvi kristali kao sićušna tjelešca, rastu oni dalje privlačeći iz najbliže okoline u otopini čestice svoje tvari i slažu ih u nizove, koji zapremaju paralelan položaj spram onih čestica, koje već sačinjavaju kristal. Tim oduzimanjem mineralne tvari promjeni se koncentracija otopine oko kristala, koji raste, a isto tako, postane i specifična težina otopine oko takvoga kristala manja negoli u nešto većoj daljini. Poradi toga dolazi do strujanja u otopini, u kojoj rastu kristali; lakši dijelovi otopine dižu se u vis, teži prilaze u okolinu kristala, koja postaje tako opet koncentrovanija; iz nje privlači kristal mineralne čestice i raste dalje. Tako se neprestano razvija u otopini, za trajanja kristalova rastenja, strujanje; oko kristala nalazi se *kristalizaciono polje*, u kom je otopina manje

<sup>1)</sup> O. Lehmann: Flüssige Kristalle etc. Leipzig 1904.

<sup>2)</sup> F. Rinne: Das feinbauliche Wesen der Materie nach dem Vorbilde der Kristalle, pag. 55. Berlin 1922.

koncentracije nego li na mjestima, gdje kristali ne rastu (sl. 18.). No strujanje se u otopini povećava i tako, što se pri rastu kristala oslobadja toplina; kristalizaciono polje toplije je od ostale otopine, pa i radi toga diže se od kristala lakša otopina u vis, a prilazi gušća u kristalizaciono polje, te tako neprestano dolazi kristalu nova mineralna tvar, nova „hrana“ i on može nesmetano da raste, da se povećava<sup>1)</sup>. Dakako, da će oni dijelovi kristala, koji su bliže prezasićenim dijelovima otopine, brže rasti, od onih, koji su udaljeniji, pošto će lakše dolaziti do mineralne tvari; takvi su dijelovi uglovi (rogljevi) i bridovi (ivice), koji brže rastu od kristalnih ploha (pljosni), koje su udaljenije od prezasićenih dijelova otopine.

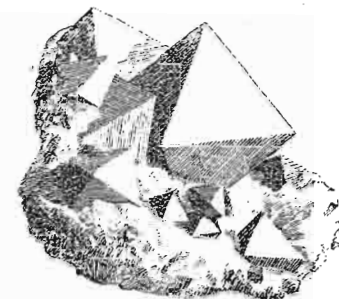
O strujanjima u otopini ili o pritanju mineralne tvari ili „hrane“ zavisiće lice kristala, njegova spoljašnjost. Teku li strujanja jednolično sa svih strana oko kristala, t. j. dopire li do njega sa svih strana dovoljno „hrane“, kristal će rasti nesmetano sa svih strana. Ako pri tom rastenju ne nailazi ni sa koje strane na zapreke, nego može slobodno da se širi na sve strane, razvit će se kao *slobodan kristal* (sl. 19.), koji je sa svih strana omedjen kristalnim ploham (pljosnima).



Sl. 18. Kristal sa kristalizacionim poljem.



Sl. 19. Slobodan kristal amfibola.



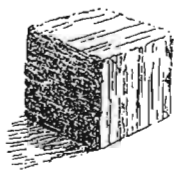
Sl. 20. Urasli kristali magnetita.

Prilike za razvitak slobodnih kristala nalaze se tamo, gdje kristali rastu u kakvom mekanom mediju, na pr. u glini ili u lavi, gdje se mogu lako protezati na koju god stranu. Po načinu svoga razvitka slobodni su kristali vrlo često *urasli kristali* (sl. 20.), jer ih nalazimo kako leže kao urasli u kakvoj stijeni. Tako ćemo u raznim sedimentnim stijenama, na pr. u crnim brusilovcima (argilošistima) Zagrebačke Gore, naći vrlo često slobodne kristale pirita (sl. 21.). Oni su se razvijali još u ono doba, dok je, danas čvrsti, brusilovac bio mekan, fin mulj, koji je voda nanijela u more. U mekanu i finu mulju rasli su kristali pirita na sve strane slobodno, dok ne izrastoše u zlatno žutim sjajnim kockicama, što leže danas uložene u čvrstu brusilovcu. I u mnogim vulkanskim stijenama, što su kao lava

<sup>1)</sup> R. Brauns: Chemische Mineralogie, pag. 123. Leipzig 1899.



provalile kroz ždrijelo vulkana na površinu Zemljinu, došlo je do razvitka slobodnih kristala. Spomenut ćemo kao primjer vulkanski stijenu, andezit, koji se nalazi u velikoj količini na jugu naše domovine, u južnoj Srbiji, tamo oko Alšara. Taj je andezit vulkanskoga postanka i pun je lijepih

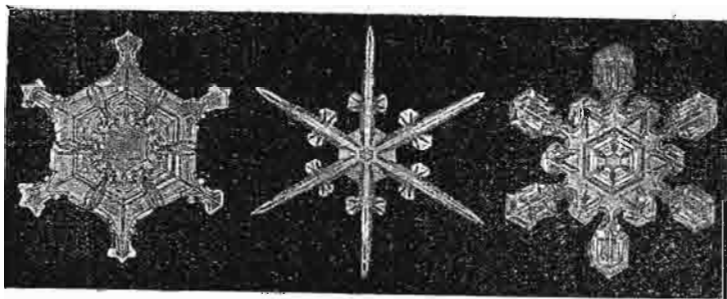


Sl. 21. Slobodan kristal pirita.



Sl. 22. Slobodni kristali u andezitu.

ovećih crnih slobodnih kristala rogovače (hornblende) i plagioklasa. Dok se andezit nalazio kao žitka, rastaljena nutrina Zemljina negdje u grdnim dubinama, počeli su se razvijati kristali rogovače i plagioklasa. U žitkoj magmi<sup>1)</sup> rasli su ti kristali na sve strane slobodno ne nailazeći ni na kakve zapreke, te se razviše kao slobodni kristali, koji leže danas uloženi u čvrstu andezitu (sl. 22.). Među slobodne kristale ubrajamo i snježne kristale, koji su se razvijali u uzduhu, gdje su se mogli bez zapreka širiti na sve strane (sl. 23.); ti kristali nisu urasli, nego lebdeći.

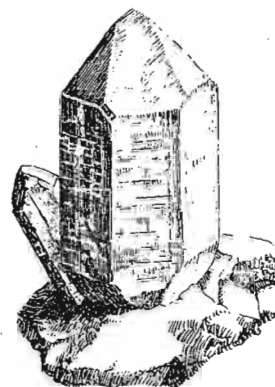


Sl. 23. Snježni kristali.

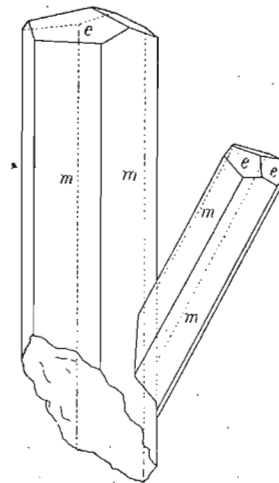
Može se dogoditi, da su prilike, u kojima raste kristal, nešto drugačije: kristal se razvija u mediju, gdje ne može na sve strane nesmetano

<sup>1)</sup> Od grč. *magma*, tijesto: rastaljene stijene u dubinama Zemlje.

da raste, nego počinje svoje rasteenje sa neke čvrste podloge u prostor, gdje ne nailazi na zapreke. U takvim prilikama ne će moći kristal da raste na strani svoje podloge, pošto s te strane ne može da prima „hranu“; a i sama podloga stavljat će pri rasteenju kristala takove zapreke, koje su nesavladive pa će doći do razvitka kristala, koji s jedne strane, sa strane podloge, nisu uopće izrasli. Takve kristale zovemo *prirasli kristali*; domovina im je redovito po pukotinama i šupljinama stijena. U vrlo lijepim priraslim kristalima zna se razviti na pr. kremen i kalcit (sl. 24. i 25.).



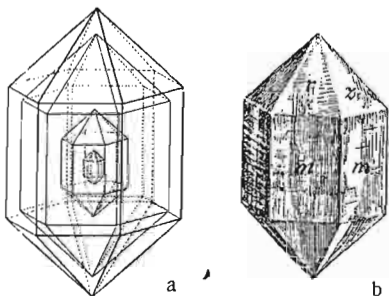
Sl. 24. Prirasli kristali kremen.



Sl. 25. Prirasli kristali kalcita.

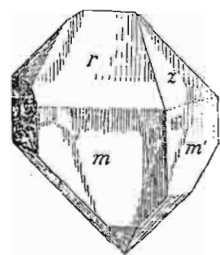
**9. Kristali se mogu razviti u pravilnim ili u razvučenim geometrijskim formama.** Rasteenje kristala očituje se u pravilnom slaganju mineralnih čestica; to je slaganje uvijek paralelno prvotnom položaju čestica i teče tako do kraja kristalova rasteenja. Kad bi prilike, u kojima se kristal razvija, bile od početka do kraja razvitka nepromijenjene, t. j. kad bi se kristal nalazio opkoljen sa svih strana mineralnom otopinom, iz koje bi priticala „hrana“ u kristalno polje, iz kojega bi otogao jednolično privlačiti svoje čestice, rastao bi on u istim kristalografskim smjerovima jednako tako, da bi sve fizički jednake plohe bile i geometrijski jednake; sve bi one bile jednako udaljene od središta kristala. Na taj način razvija se kristal kao pravilan geometrijski lik, koji zovemo *idealni kristal* (sl. 26.). Posmatrajmo kao primjer razvitak kremenova kristala. Neka se njegova kristalizacija vrši u mediju, koji će omogućiti razvitak slobodna kristala. U prvom početku oko zametka kremenova slažu se čestice u pravilne nizove i nenadano pojavi se pred nama sitno tijelo pravilne geometrijske forme sa plohama prizme i bipiramide. Pritiče li ka svakoj plohi prizmatškoj

jednaka količina „hrane“, rasti će svaka od njih u istoj veličini; isto će se u takvom slučaju dogoditi i sa bipiramidskim ploham (sl. 26. a), dok se na kraju ne razvije idealan kristal kao posve pravilan geometrijski lik (sl. 26. b). Poremeti li se pritanje mineralne tvari tako, da k nekim prizmatiskim ploham pritiče više tvari nego li k drugima, a isto tako i k ploham bipiramidskim, razvit će se dakako kristal sa nejednakim prizmatiskim i sa nejednakim bipiramidskim ploham, te je došlo do razvitka kristala, na kom su fizički jednake plohe (15) različite veličine, a po tome i različito udaljene od središta kristala. Ovakav kristal, gdje su fizički jednake plohe različite veličine, zovemo *razvučeni kristal* (sl. 27.). Razvučeni kristali mnogo su rašireniji u prirodi od idealnih kristala.

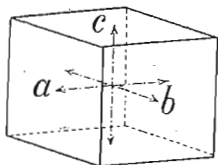
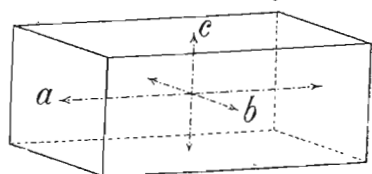


Sl. 26. Idealan kristal kremenca.

Sl. 27. Razvučeni kristal kremenca.



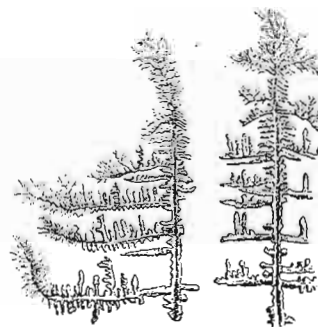
Ako uporedimo razvučeni kristal sa idealnim, vidjet ćemo, da jedan i drugi imaju isti broj ploha i te su plohe ista položaja; sve su one rasle paralelno svom prvotnom položaju (sl. 26. i 27.). Tokom rastejanja one su mogle promijeniti svoj oblik; razvukle su se. A to znači, da brzina njihova rastejanja nije bila uvijek stalna, ona je kolebala. No dok brzina rastejanja može da bude kolebljiva, to je *smjer rastejanja uvijek stalan, nepromjenljiv*. Taj smjer nadjemo, ako povučemo okomicu na plohu kristala (sl. 28.). Okomice dakle na plohe kristala smjerovi su rastejanja. Kod pirita, koji se razvio kao

Sl. 28. Okomice  $a, b, c$  označuju smjer rastejanja kod idealna kristala.Sl. 29. Okomice  $a, b, c$  označuju smjer rastejanja kod razvučena kristala.

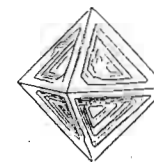
slobodan kristal u formi pravilne kocke, okomice  $a, b$  i  $c$  pokazuju smjer rastejanja. Ako je rastejanje smjerom tih okomica bilo do kraja razvitka jednake brzine, pirit će se razviti u formi savršene kocke kao idealan kristal (sl. 21.); ali kako je piritna tvar dopirala više prema plohi  $a$  nego li prema

plohama  $b$  i  $c$ , to je i rastejanje u smjeru okomice  $a$  bilo brže nego li u smjeru okomice  $b$  i  $c$ . Posljedica je takova razvitka razvučeni kristal, gdje je ploha  $a$ , koja je brže rasla, manja od plohe  $b$  i  $c$ , koje su rasle polaganije (sl. 29.). *Većoj plohi, plohi veće površine, odgovara dakle manja brzina rastejanja*, prema tome okomice, što ih povlačimo na plohe (pljosni) kristala, pokazuju smjer najsporijega rastejanja, dok su okomice na bridove (ivice) i uglove (rogljeve) smjerovi najbržega rastejanja, pošto su bridovi (ivice) i uglovi (rogljevi) oni elementi kristala, koji uopće nemaju površine.

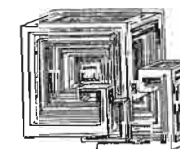
**10. Mineralna tvar može se pri kristalizaciji razviti i u kristalnim skeletima.** Govoreći o nejednakom pritanju mineralne tvari ka kristalu, koji raste, istaknuli smo, da se u takvom slučaju razvije razvučeni kristal. No na vanjštinu njegovu, na njegovo lice utiče jako i brzina rastejanja, koja dovodi često puta do razvitka nepotpunih kristala. Dok kristal raste u nekoj otopini, koja je ili mirna ili u jednoličnom gibanju, posve polako, razvit će se kao poligonalno tijelo sa ravnim ploham. No raste li kristal velikom brzinom, pa još iz otopine, koja je vrlo viskozna<sup>1)</sup> (gusta, žilava) tako, da je u njoj strujanje mineralnih čestica otežčano, razvit će se kristal ili u sitnim granama (sl. 30.) i prutićima, koji su dakako simetrijski poredani, ili sa ploham, koje su pune stepenastih udubina (sl. 31. i 32.). Takve granate, prutičaste kristalne likove ili kristale sa ploham stepenastih udubina, zovemo *kristalnim skeletima*.



Sl. 30. Kristalni skeleti barijskoga nitrata.



Sl. 31. Kristalni skelet kuprita.



Sl. 32. Kristalni skelet kamene soli.

Dok kristal raste, mora da svladava otpor, što mu ga u smjeru njegova rastejanja stavlja otopina, koja ga ovija. Što je oko kristala otopina prezašćenija, privlači on iz nje i više tvari, naglije se uvećava, pa u smjeru-

<sup>1)</sup> Od lat. *viscosus*, žilav; što je neka otopina viskozija, to je u njoj unutarnje trenje veće, molekularno gibanje polaganije, pa teže dolazi do difuzionih strujanja, koja su nužna za povoljan razvitak i rastejanje kristala; u otopinama, koje nisu viskozne, koje su na pr. rijetke poput vode, unutarnje je trenje manje, molekularno gibanje živahnije te lako dolazi do difuzionih strujanja, koja pospješuju rastejanje i razvitak kristala.

vima najbržega raste, najbržega uvećavanja izvodi i najveći tlak na okolnu otopinu, a i ona na njega. Kako je tlak najmanji ondje, gdje je površina, s kojom kristal raste, najmanja, zauzima kristal u smjerovima svoga uvećavanja što manju, užu površinu; on prodire pri svome raste u otopinu sa tanušnim šiljcima, a ne sa širokim ploham. Posljedica takova raste ne će biti forma omedjena sa svih strana ploham, nego forma sastavljena od tanušnih prutića, grančica, gdje svaka od njih strši od zajedničke kristalizacione tačke u kristalizaciono polje (vidi sl. 8. i 18.).

Uz grančice i prutiće nalazi se kristalizaciono polje, u koje radi toga, što je otopina na miru ili što je viskozna, pritiču polako i nejednolično prezasićeni dijelovi mineralne otopine, pa grančice i prutići polako debljaju. Tu i tamo može uz prutiće (u kristalizacionom polju) postati otopina radi strujanja prezasićena; na tim mjestima prezasićenosti privuče prutić naglo čestice mineralne tvari i stane brzo rasti: od prutića se tako stanu razvijati novi ogranci, od ovih opet drugi, dok se konačno ne iskristalizuje čitava tvar u formi kristalnih skeleta kao granato tijelo. Kadikad završuju grančice i prutići sa tanušnim šiljcima kao iglice, a kadikad su ograničene ravnim ploham.

Ogranci kristalnoga skeleta mogu ležati u nekoliko ravnina, ali uvijek zapremaju položaj, koji odgovara simetriji kristalne klase, u kojoj se mineralna tvar kristalizuje, te se najviše podudaraju sa kristalnim osima ili sa suosima ili sa medjuosima. Takvi se kristalni skeleti mogu razviti iz vodene otopine (na pr. kristalni skeleti salmijaka) ili iz taljevine (na pr. kristalni skeleti magnetita) ili sublimacijom (na pr. snježni kristali). Kadikad ogranci kristalnoga skeleta podsjećaju posve na grančice drveta; razvili su se u dendritičnim<sup>1)</sup> formama. Negdje mogu prutići da leže samo u jednoj ravnini; dakako i u tom slučaju zapremaju simetrijski položaj, pa se sijeku pod kutom od 90°, 60° ili pod nekim drugim kutom. Ovako položeni prutići stvaraju t. zv. *rešetkaste kristale*, koji se znadu razviti i u pravim granatim (dendritičnim) formama (na pr. snježni kristali i grane leda na staklu).



Sl. 33. Trihiti.

U nekim čvrstim lavama (prirodnim staklima), na pr. u opsidijanu, razvili su se kristali u formi tanušnih vlasi, koje su na različite načine svinute (sl. 33.); te vlasaste kristale zovemo *trihitima*<sup>2)</sup>. Možemo ih zapaziti tek pomoću mikroskopa i onda se pokazuju uvijek potpuno crni. Trihiti su sićušni kristali, koji su rasli u jednom smjeru. Kako su silno tanušni, lako su savitljivi te ne mogu da svladaju otpor, komu su izvrgnuti u otopini, gdje dolazi do strujanja; uklanjaju se strujama na razne

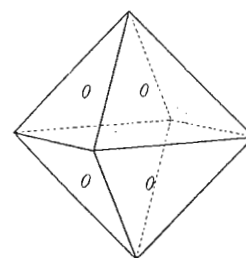
<sup>1)</sup> Od grč. *déndron*, drvo.

<sup>2)</sup> Od grč. *thrix*, *trihós*, vlas.

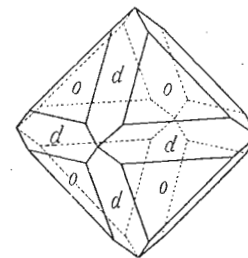
strane i pri tom se saviju u luk, crvoliko, negdje se savijaju tako da stvaraju  $\frac{3}{4}$  kruga, negdje kao da su zauzlani. Poradi toga savijanja razvija se u trihitima znatna unutarnja napetost, pa znadu nenadano da se rasprsu ili ispruže. Ako pri ovom savijanju prekorače granicu elastičnosti, prelome se, pa ih vidimo, gdje stvaraju oštre kutove.

Ako se trihiti iz neke kristalizacione tačke razvijaju na sve strane kao ravne niti, može se razviti vlasasti kristalni agregat, koji će imati formu kugle; takve radijalne<sup>1)</sup> kuglaste agregate zovemo *sferokristalima* ili *sferolitima*<sup>2)</sup>. Kad posmatramo sferokristal<sup>3)</sup> u polarizovanom svijetlu pomoću mikroskopa sa unakrštenim nikolima, pokazuju oni crni krst<sup>3)</sup>.

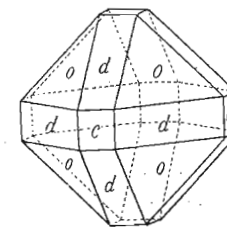
**11. Tokom raste mogu se na kristalu razviti nove plohe (pljosni), kojih u početku raste nije bilo.** Ako se kristal razvija do kraja svoga razvitka uz konstantne fizičko-kemijske prilike, izrast će u onoj formi, s kojom je počeo svoj razvitak (sl. 26.a). Ali tokom kristalova razvitka mogu se te prilike promijeniti, pa se može dogoditi, da se raste u smjeru prema bridovima (ivicama) i uglovima (rogļevima) uspori; u tom slučaju pojavljuju se na mjestu bridova i uglova plohe, kojih do tada na kristalu nije bilo. Tako se na pr. iz prezasićene otopine alaunove razvijaju u početku idealni kristali (sl. 34.), na kojima vidimo 8 ploha *o* (oktaedar); kod kasnijega raste počinju se na mjestu bridova i uglova razvijati plohe *d* i *c* (sl. 35. i 36.), koje sve jače otupljuju bridove i uglove i tako izraste konačno



Sl. 34.



Sl. 35.



Sl. 36.

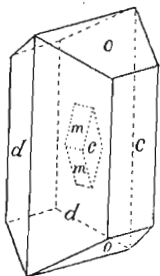
kristal sa ploham, kojih u prvo doba njegova razvitka nije bilo. Dogadja se i to, da se plohe, koje su u početku kristalizacije stale da rastu, izgube. Barit (sl. 37.) se na pr. u prvo doba razvija u pločastim kristalima sa ploham *c* i *m*, a kasnije se taj kristal u toliko promijeni, što se mjesto plohe

<sup>1)</sup> Od lat. *rádus*, zraka.

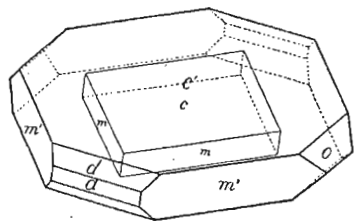
<sup>2)</sup> Od grč. *spháira*, kugla. Od grč. *lithos*, kamen.

<sup>3)</sup> O. Lehmann: Molekularphysik, I. Bd., pag. 326., 354. Leipzig 1888. — R. Brauns: Chemische Mineralogie, pag. 127. — F. Zirkel: Lehrbuch der Petrographie, Bd. I. pag. 149., 699. — H. Rosenbusch: Mikroskopische Physiographie der Mineralien und Gesteine. Fünfte völlig umgestaltete Auflage von E. A. Wülfing, Bd. I. pag. 801. Stuttgart 1924.

$m$  razviju nove plohe  $d$  i  $o$ , kojih u početku nije bilo. Kod nekih baritovih kristala možemo vidjeti još onaj prvotni pločasti kristal, kako leži uklopljen u izraslu kristalu (sl. 38.). Mali, uklopljeni kristal zadržao je svoje plohe  $m$  i  $c$ , te je paralelno tim plohama i dalje rastao, ali se na mjestu bridova između  $mm$  razvile nove plohe  $ado$ . Osim razvitih ploha mogle su se dakle razviti na kristalu i neke druge plohe; te plohe, koje se na kristalu nisu razvile, ali su se mogle razviti, zovemo *moogućim plohamama*. Kad proučavamo forme kristala, bavimo se ne samo sa razvitim plohamama nego i sa mogućim.<sup>1)</sup>



Sl. 37.



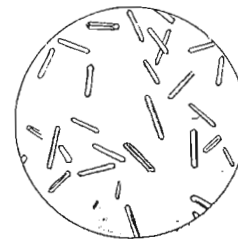
Sl. 38.

**12. Kristali mogu izrasti u različitoj veličini.** Kristali su podvrgnuti razvitku; imaju svoju prošlost, svoju sadašnjost i svoju budućnost; postali su, postoje i nestat će. Nekad tekuća ili plinovita tvar danas je to čvrsto tijelo pravilnih poliedarskih forma. Od sićušne klice izrastoše u maljušne ili velike kristale, kako koji. U toku svoga razvitka prošli su doba mladosti i dospjeli do potpune doraslosti čekajući, dok ih ne zadesi udes, koji će ih uništiti, da sagradi iz njih nove minerale, nove kristale. Oni su često već u prvo doba svoga razvitka posve jednaki svojom formom doraslu kristalu. Ali veličina za njih nije ništa karakteristično. Neki mineral može da se razvije i u malim i u velikim kristalima. U krečnjacima (vapnenjacima) našega krša (karsta) ima na pr. sićušnih kremenovih (kvarcovih) kristala, da se tek pomoću mikroskopa mogu zapaziti; mjere tek koju desetinku milimetra. A na Madagaskaru nadjoše pravih kremenovih gorostasa; tamo su pojedini kremenovi kristali mjerili u obimu do 8 metara. Pa tako i drugi minerali mogu da izrastu ili u malim ili u velikim kristalima. U vulkanskim stijinama na pr. ima glinenčevih (feldšpatovih) kristala, koji su tako sićušni, da ih tek mikroskop otkriva, a po pukotinama stijena nadje se glinenčevih kristala, koji mjere u obimu i nekoliko metara.

Da li će kristali neke mineralne substancije izrasti u krupnijim ili sitnijim individuima, stoji do načina gibanja mineralnih čestica u otopini.

<sup>1)</sup> C. M. Viola: Grundzüge der Kristallographie, pag. 139. Leipzig 1904. — G. Tschermak: Lehrbuch der Mineralogie. Achte, verbesserte und vermehrte Auflage bearbeitet von F. Becke; pag. 9. Wien und Leipzig 1921.

Ako je mineralna otopina jako rijetka, t. j. ako je ona znatnoga fluiditeta<sup>1)</sup>, bit će i unutarnje trenje otopine manje, a to će povećati kristalizaciju otopine. Ostanu li otopina do kraja svoje kristalizacije dosta fluidna (rijetka), izrast će kristal u onoj veličini, koja odgovara prirodi njegove tvari. Ali ako je otopina jako viskozna (gusta), ili ako se topilo, koje drži mineralne čestice u otopljenju stanju, naglo isparuje, ili ako se taljevina naglo ohladjuje, može se dogoditi, da započeto rasteње kristala bude zapriječeno, pa kristali ostanu nedorasli u onim svojim početnim, tako reći, embrionalnim dimenzijama. Oni su tako sićušni, da ih samo pomoću mikroskopa vidimo i to više puta u formi jasnih kristalića ili u formi iglica, vlakana, listića, štapića i zrnaca. Kako su jako sitni vrlo je teško odrediti, kojemu mineralu pripadaju, a u nekim se slučajevima ne mogu uopće odrediti. Sve te sićušne nedorasle kristaliće nazvao je Vögelsang *mikrolitima*<sup>2)</sup>; ako se dadu odrediti, dajemo im ime onoga minerala, komu pripadaju, na pr. augitni mikroliti, silimanitni mikroliti, glinenčevi (feldšpatovi) mikroliti, rogovačini (hornblendini) mikroliti i t. d. Neki su od mikrolita bezbojni, neki bojadisani, ali prozirni, a neki posvema neprozirni, crni. Bezbojne igličaste mikrolite (sl. 39.) zove Zirkel *belonitima*<sup>3)</sup>, a vlasaste crne *trihitima* (sl. 33.). Vrlo lijepih mikrolita nalazimo i u vulkanskom kamenju, koje se zbog nagloga ohladjivanja nije moglo potpuno da iskristalizuje, na pr. u nekim vitrofirima, opsidijanima, andezitima, liparitima i t. d.; ima ih i u troskama (zgurama), što nastaju u talionicama, gdje se istaljuju gvozdene, bakarne i druge rude.



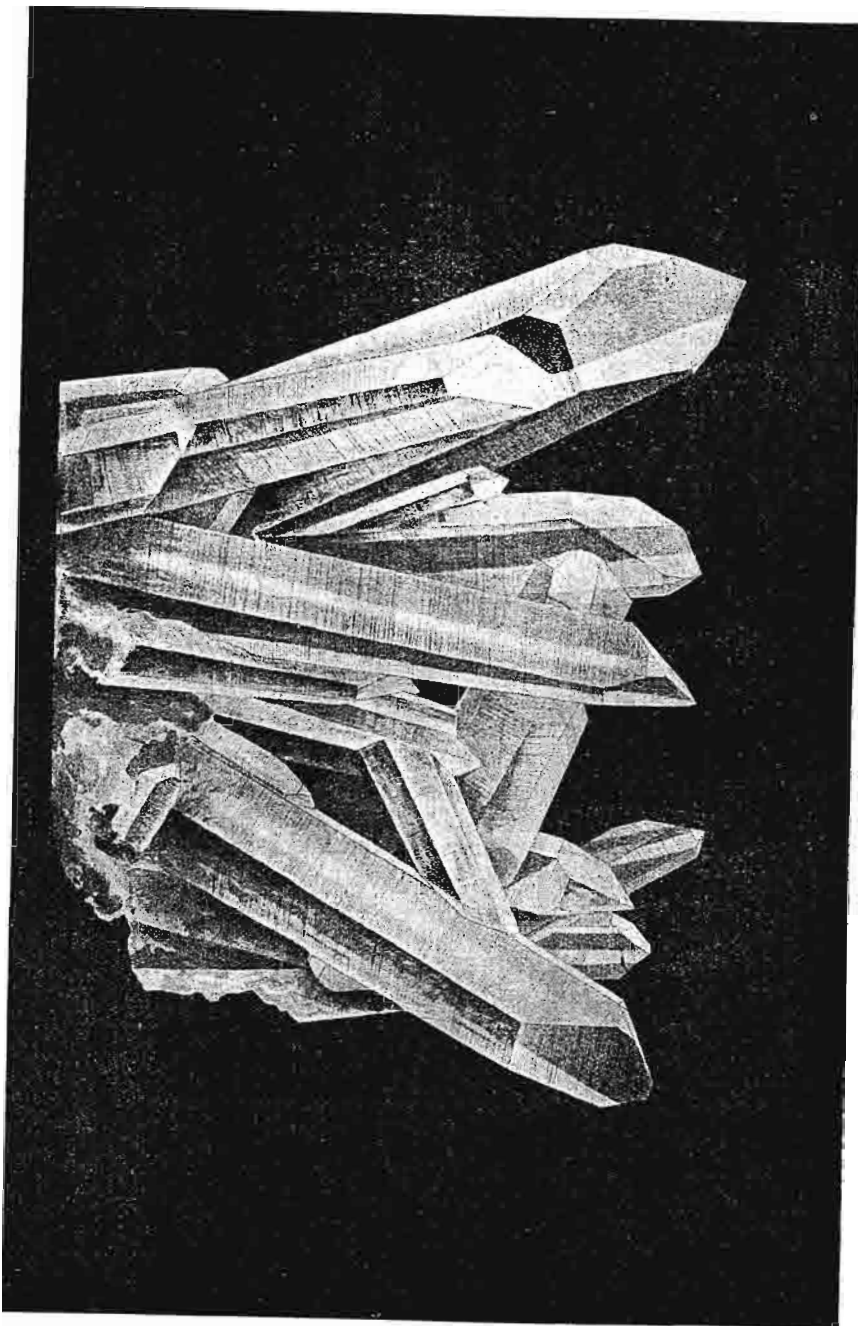
Sl. 39.

I ako neki kristal može da izraste u rznim dimenzijama, pa mu prema tome nije veličina nešto karakteristično, ipak ni kristali ne mogu da izrastu u neograničenim dimenzijama. Ima neka granica, preko koje ne mogu ni kristali da prijedju; izrastu do neke veličine i dalje ne mogu da rastu, pa bile prilike za daljnje rasteње najpovoljnije. Kristali na pr. leda (kristalizovano stanje vode) uprkos tome, što su prilike za njihov razvitak najpovoljnije, izrastu uvijek samo u sićušnim kristalima, a jednako tako snježni kristali jedva da izrastu do veličine kojega milimetra. Košto „neka biljka ili neka životinja“, veli mineralog *Retgers*, „ima doba svoje mladosti, kad naglo raste i doraslo doba, kada uprkos svakoj hrani ne može više da raste, da se uvećava, tako i kristal ima stanje mladosti, kad raste i stanje doraslosti, kad više ne raste“. Rasteње je kristala ograničeno i po tom se

<sup>1)</sup> Od lat. *fluidus*, tekuć. Fluiditet je reciproka vrijednost viskoziteta, pa što je fluiditet veći, unutarnje je trenje manje, otopina je rjeđa i lako teče.

<sup>2)</sup> Od grč. *mikrós*, sitan, *lithos*, kamen.

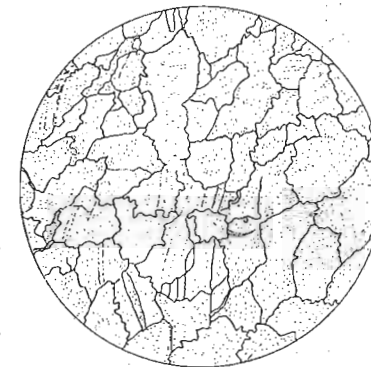
<sup>3)</sup> Od grč. *belonē*, igla.



oni razlikuju od običnih geometrijskih likova, koje možemo zamisliti neizmjereno velike<sup>1)</sup>).

**13. Minerali se razvijaju ili kao kristalizovani ili kao kristalasti.** Kristale minerala nazvali smo njihovim individuima. Oni su se mogli razviti ili kao idealni ili kao razvučeni kristali, ili u slobodnim ili u priraslim individuima. Gdje se razvilo više priraslih kristala na jednoj zajedničkoj podlozi (sl. 40.) stvaraju kristalnu zadrugu (kristalnu druzu<sup>2)</sup>). Sve minerale, koji se pojavljuju u jasnim kristalima, na kojima razabiramo njihove kristalne forme, zovemo *kristalizovanim mineralima*. Tako je na pr. kalcit kristalizovan, kad se pojavljuje u jasnim kristalima, na kojima možemo razabrati kristalne plohe (pljosni)·bridove (ivice) i uglove (rogljeve). Kristalizovane minerale nalazimo obično po pukotinama i šupljinama stijena, gdje se okupljaju vrlo često u kristalne zadruge. Tu su oni imali dovoljno prostora za svoj razvitak, pa su izrasli u individuima poliedarske forme.

Ali često izvanja pravilnost minerala, njegova poliedarska forma, zna biti izobličena te se mineralni individuum pojavljuje u posve nepravilnoj formi. Događa se to onda, kad za trajanje kristalizacije pojedini individui nemaju dovoljno prostora za svoj razvitak. Iz neke otopine, na pr. kalcitove, počinju se kristalizovati pojedini individui. Oko kristalnih zametaka redaju se kalcitove čestice i rastu kristali ovdje jedan, tamo drugi, pa treći; ima ih mnogo, bez broja. Svaki od njih privlači k sebi nove čete čestica i slaže ih u raznim smjerovima oko sebe; svi teže, da njihova unutrašnja gradja, struktura dodje do izražaja i u vanjštini, da se iskristalizuju u jasno razvitim kristalima. Ali jedva su se počeli razvijati, već se sukobiše otimajući se o mjesto, o prostor. Jedan je drugome na putu, pa se potiskuju; ni jedan se ne da maknuti sa svoga mjesta. Razvija se prava borba, ali kako je snaga svima ojednaka, ojednako svi stradavaju. Ni jedan ne će iznijeti pobjede, izaći će svi osakaćeni. Kako im je napokon ponestalo mjesta za pravilno izvanje rasteenje, utiskuju se jedan u drugoga,



Sl. 41. Kristalasti krečnjak, koji je sastavljen od nepravilnih individua kalcita; posmatran pod mikroskopom.

<sup>1)</sup> H. Rosenbusch: Mikroskopische Physiographie der Mineralien und Gesteine, Bd. I. Fünfte Auflage. Stuttgart 1924. pag. 774. — F. Zirkel: Lehrbuch der Petrographie, I. Bd. pag. 148. Leipzig 1893. — Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie, 1895. Bd. II. pag. 187. — H. Vogelsang: Philosophie der Geologie und mikroskopische Gesteinsstudien, pag. 139. Bonn, 1867.

<sup>2)</sup> Od njem. rudarske riječi *Druse*, šuplji prostor ispunjen kristalima.

isprepleću se među sobom i kad je kristalizacija dovršena, od čitavoga toga bezbroja kalcitovih individua, uprkos njihovoj posvema pravilnoj unutrašnjoj gradnji, strukturi, ne dobi ni jedan pravilne vanjske forme, ni jedan se nije razvio kao poliedarsko tijelo sa kristalnim ploham (pljosnima), bridovima (ivicama) i uglovima (rogļevima), nego u posve nepravilnom zrnju (sl. 41.).

Ovakav agregat od bezbroja nepravilnih individua, koji su zaista u unutarnjosti svojoj posve pravilno građeni kao i svaki kristalizovani individuum sa poliedarskim formama, zovemo *kristalastim*. Tako je na pr. bjelutak kristalasta vrsta kremena (kvarca); to nije jedan individuum nego agregat od bezbroja kristalizovanih individua, koji su se razvili u formi nepravilna zrnja. Kad bismo od bjelutka priredili tanušnu pločicu, pa je posmatrali pomoću mikroskopa, vidjeli bismo te nepravilne individue kako se odlikuju svim osobinama, kojima se odlikuje i svaki kristalizovani kremenov individuum sa pravilnim poliedarskim formama. Naši krečnjaci (vapnenjaci), što izgrađuju najviše i najljepše naše planine, kad ih lomimo, pričinjaju nam se kao gusta stijena, ali i oni su potpuno kristalasti, jer su sastavljeni od mirijada i mirijada sićušna nepravilna kalcitova zrnja, koje je u nutrini svojoj građeno kao svaki kalcitov kristal.

Kod kristalastih agregata pojedini individui primaju izvjesnu formu i u toj se formi među sobom isprepleću, dajući tako kristalastom agregatu karakterističnu strukturu. Negdje će individui imati formu nepravilna zrnja, pa će se razviti *zrnasti agregat* ili agregat *zrnaste strukture*; negdje će se individui razviti u sitnim listićima ili ljuskama i agregat je *lisnat* ili *lisnate, ljuskave strukture*; negdje su individui izrasli u tanušnim vlasima i agregat je *vlasast* ili *vlasaste strukture*; negdje su individui prutičasti, igličasti ili trakasti, pa je agregat *prutičast, igličast, trakast* ili *prutičaste, igličaste* i *trakaste strukture*. Kod prutičastih, igličastih i trakastih kristalastih agregata mogu se pojedini individui poredjati u paralelan položaj, pa su to *paralelni trakasti agregati*; negdje se trakasti agregati šire na sve strane od neke centralne tačke; to su *divergentni* ili *radijalni trakasti agregati*.

O vrsti strukture zavisi i čvrstina kristalastih agregata. Kod zrnastih agregata, gdje pojedina zrnca ne zadiru jako jedna u druga, agregat je slabe čvrstine; takve su strukture neki kristalasti agregati dolomita, pa se zbog toga dolomit lako drobi u sitan pijesak. Agregati listićave i ljuskave strukture lako se rone u sitne listiće, na pr. listićavi agregati željeznoga sjajnika. Kristalasti agregati prutičaste ili trakaste strukture dosta su čvrsti, ali najčvršći su kristalasti agregati vlasaste strukture, kod kojih su pojedini vlasasti individui međusobno najrazličitije isprepleteni kao kakovo pletivo; takvi su vlasasti agregati poznati kod nefrita i jadeita, koji su tako žilavi, da se vrlo teško obraduju (65).

Vanjsko lice kristalastih agregata jako je različito; neki su *kuglasti*; takve zovemo *oolitima*<sup>1)</sup> i *pizolitima*<sup>2)</sup>; neki *bubrežasti, grozdasti, stalaktitni, pločasti*, a neki posve nepravilne forme, koju zovemo *gromadastom*. Bubrežasti i grozdasti agregati katkad su na površini glatki i sjajni, na pr. neki hematiti i limoniti; takve zovemo *caklovicom*. Caklovica je sastavljena od lupina, a svaka lupina od trakastih agregata, pa velimo za caklovicu, da je *lupinasto-trakaste strukture*.

S kakvom će se strukturom razviti neki kristalasti agregat, stoji to do kristalizacionih sila i do brzine kristalizacije; brzina kristalizacije stoji opet do fizičko-kemijskih sila. Minerali, koji se kristalizuju obično u prizmatском habitu (54), stvarat će kristalaste agregate trakaste, vlasaste i igličaste strukture, na pr. neki amfiboli i pirokseni (jadeit i nefrit); koji se kristalizuju u pločastom habitu, sačinjavat će listićave i ljuskave agregate, na pr. hematit; do zrnastih agregata doći će tamo, gdje su pojedini individui rasli u tri smjera gotovo ojednakom brzinom, na pr. zrnasti agregati kalcita.

U kakvoj će se vanjskoj formi razviti koji kristalasti agregat, stoji do izvanjih prilika, u kojima se razvija. Ako je agregat kao cjelina imao dovoljno prostora, izrast će u formi, koja je obično konveksno zaobljena. Tako će se iz vodenih otopina razviti kristalasti agregati katkada u oolitima i pizolitima, a iz rastaljene tvari (iz magme) u sferolitima. Tamo gdje otopina mineralne tvari prodire kroz pukotine stijena u neki šuplji prostor, gdje se dakle kao cijedi i kaplje, nastat će t. zv. *cjedina*, t. j. kristalasti agregati forme stalaktitne, bubrežaste i grozdaste.

Negdje će kristalasti agregat primiti formu prostorije, u kojoj se razvijao, to se događa tamo, gdje agregat kao cjelina nema dovoljno prostora za svoj razvitak. Po eruptivnim stijenama, na pr., koje su pune jajolikih, kuglastih i nepravilnih šupljina, kristalizuje se mineralna tvar u kristalastim agregatima, koji će primiti formu tih šupljina, pa će biti jajolike, kuglaste ili posve nepravilne. Tako se po šupljinama nekih melafira nalaze kuglasti agregati (mandule) kalcita, kalcedona i nekih zeolita.

Individui, što sastavljaju kristalasti agregat, mogu biti tolikih dimenzija, da ih golim okom razabiramo; u tom slučaju govorimo o krupno zrnastim, krupno trakastim ili o sitno zrnastim, sitno trakastim i t. d. agregatima; to su *fanerokristalasti*<sup>3)</sup> *agregati*. Katkad su individui kristalastih agregata tako sićušni, da ih tek pomoću mikroskopa razabiramo; takve agregate zovemo *kriptokristalastima*<sup>4)</sup> ili gustima.

**14. Minerali su i amorfni.** Kristalizovani minerali odlikuju se anizotropijom, zbog koje su fizička svojstva u različitim smjerovima različita.

1) Od grč. *oón*, jaje i *líthos*, kamen.

2) Od lat. *písum*, grašak.

3) Od grč. *phanerós*, očit, jasan.

4) Od grč. *kryptós*, sakrit.

Ali među mineralima nalazimo i takovih, koji su homogeni, a fizička su im svojstva u svim smjerovima ista, jednaka; u svakom smjeru imaju jednaku numeričku vrijednost. Ako se u takvom mineralu širi neko gibanje, na pr. valovito gibanje svijetla, širi se na sve strane jednakom brzinom; zato velimo, da je takav mineral *izotropan*, da se odlikuje izotropijom. Izotropni minerali nemaju nikada svoje vlastite forme; oni su *amorfní*<sup>1)</sup>. Njihova unutrašnja gradnja, struktura, očituje se u tom, da molekule nisu zapremile među sobom odredjen, pravilan položaj; molekule, izmiješane među sobom bez ikakva reda, nalaze se u položaju, koji su slučajno zapremile.

Dok su prema međusobnom položaju molekula amorfní minerali posve nepravilne unutrašnje gradje, strukture, dotle su molekule same za sebe pravilne gradje, anizotropne. „Između kristala i kemijske molekule nema principijelne razlike. I kristali i molekule imaju karakteristično svojstvo, da drže atome u pravilnom međusobnom položaju“<sup>2)</sup>. Prema tome su kristalizovani i amorfní minerali s obzirom na svoju leptonsku<sup>3)</sup> gradju usko povezani; jedni i drugi sastavljeni su od molekula, koje su anizotropne.

Kako su u amorfnim mineralima sva fizička svojstva skalarna, to je i kohezija<sup>4)</sup>, sila, kojom se među sobom privlače pojedine molekule, skalarna; ona je u svim smjerovima jednaka. Pri razvitku amorfná minerala ne može se dakle razviti poliedarsko tijelo; čestice se pri postajanju amorfnoga tijela gomilaju sa svih strana jednakom brzinom, pa kad bi prilike bile povoljne, razvilo bi se ono u formi kugle. Ali već sama teža poremećuje kuglastu formu, pa nedovoljan prostor i još koješta drugo tako, da se amorfan mineral razvija obično u više ili manje kuglastim formama, koje su grozdaste, bubrežaste (sl. 42.), a dakako vrlo često i posvema nepravilne.

Amorfní minerali nisu tako česti kao što su kristalizovani. Postaju iz nekih otopina na pr. iz rastaljene nutrine Zemljine. Kad magma provali na ždrijelo vulkana kao lava<sup>5)</sup>, dospije na površinu Zemlje. Dok je bila u nutrini Zemljinoj, bila je pod visokom temperaturom i velikim tlakom. Molekule mineralnih tvari gibale su se u njoj slobodno bez ikakva reda i to jače, što je magma bila rjeđa, što je imala veći fluiditet. Dospjevši na površinu, dospjela je i u nižu temperaturu i pod niži tlak, tu se stala ohladjivati; tim ohladjivanjem padao joj je fluiditet a rastao viskozitet,

<sup>1)</sup> Od grč. *á*, bez, *mórphē*, oblik.

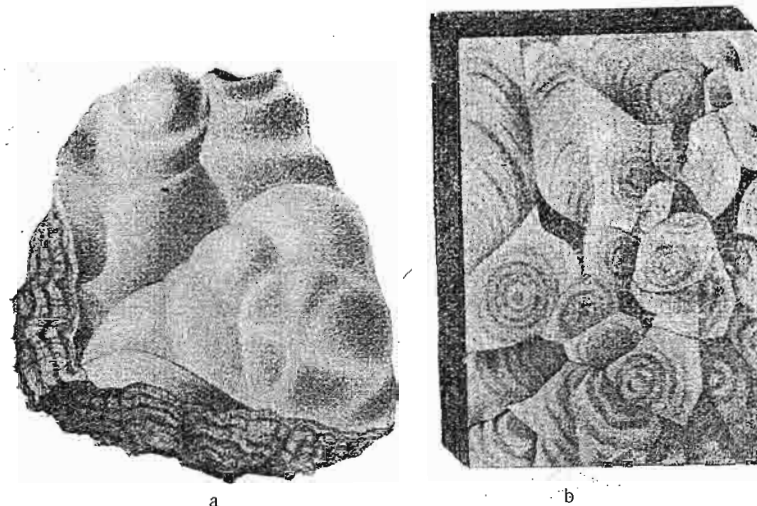
<sup>2)</sup> P. Debye i P. P. Scherrer; citat iz F. Rinne: Das feinbauliche Wesen der Materie nach dem Vorbilde der Kristalle; 2. und 3. erweiterte Auflage, pag. 36., Berlin 1922.

<sup>3)</sup> Od grč. *leptós*, nježan, fin. Čestice materije, elektrone, atome, ione i molekule, koje sastavljaju plinove (gasove), tekućine i kristale, zove F. Rinne *leptonima*; nauku, koja se bavi položajem leptona u materiji, zove Rinne leptologija ili nauka o leptonima.

<sup>4)</sup> Od lat. *cohaerēre*, skupa držati.

<sup>5)</sup> Od lat. *lavāre*, preplaviti.

postala je gusta, molekule se u njoj sve teže gibaju i što se više ohladjuje, sve se više ukopčuje i zaprečuje slobodno gibanje molekulama. Kako se naglo ohladila, naglo se i ukrutila i molekule nisu imale dovoljno vremena da zapreme pravilan položaj jedna spram druge, da sagrade kristalizovano



Sl. 42. Bubrežasta forma malahita (a); prerez kroz bubrežastu formu malahita (b).

tijelo; ostale su bez ikakva reda u krutoj, čvrstoj masi: lava je prešla iz tekućega stanja u čvrsto, u amorfnu masu, u staklo. Amorfní minerali, koji su postali naglim ohladjivanjem rastaljene tvari, zovu se *hijalini*<sup>1)</sup> *minerali* i oni su vrlo rijetki. Po svojoj prirodi odgovaraju više stijenama nego li mineralima, pa ih nalazimo samo među vulkanskim stijenama kao vulkansko staklo poznato pod imenom opsidijan<sup>2)</sup>, plovučac, smolinac i t. d. Oni su postali dakle na taj način da otopina, lava, nije dospjela da se iskristalizuje.

Mnogo su češći amorfní minerali, koji su postali iz t. zv. *koloidnih*<sup>3)</sup> *otopina*. Otopine, iz kojih se mogu razviti minerali, dvojake su: kristaloidne i koloidne. Kad kamenu so stavimo u vodu, ona će se u njoj otopiti raspadajući se u molekule, koje se slobodno gibaju. Jedan dio molekula raspada se (disociira) u vodi dalje u još sitnije čestice, u ione<sup>4)</sup>. Čim se znatan dio topila (u ovom slučaju voda) ispari, postane otopina prezasićena kamenom soli, koja se počinje kristalizovati. Takve otopine, gdje se u nekoj tekućini nalazi koja tvar otopljena (na pr. so u vodi), a nakon

<sup>1)</sup> Od grč. *hyálinos*, staklen.

<sup>2)</sup> Od *Obsidiana*, nekoga Rimljanina, koji je tu vrstu vulkanskoga stakla donio iz Etiopije u Rim.

<sup>3)</sup> Od grč. *kólla*, tutkalo.

<sup>4)</sup> Od grč. *ión*, *iontos*, putujući.

isparenja tekućine prelazi kristalizacijom ponovice u čvrsto tijelo, zovu se *kristaloidne otopine*; tvar, koja je bila u tekućini otopljena, zove se *kristaloid*. Iz kristaloidnih otopina razvijaju se uz povoljne prilike kristalizovani minerali.

Ali ima i takovih otopina, koje predstavljaju tekućine, u kojima neka tvar nije otopljena, nego je u sićušnim i presićušnim česticama, koje ni običan mikroskop ne može da otkrije, po tekućini raširena. Takove su *otopine koloidne*, a tvar, koja je u tekućini u finim česticama neotopljena, zove se *koloid*. Kada se u koloidnoj otopini tekućina ispari, čestice se talože u čvrsto tijelo u t. zv. *gel*<sup>1)</sup>, koji je obično amorfan. Iz koloidnih otopina postaju dakle amorfni minerali — geli, koji su poznati i pod imenom *porodnih*<sup>2)</sup> *minerala*.

Amorfni minerali ili geli postaju obično kod trošenja minerala na površini Zemlje, gdje se minerali preobražavaju prelazeći u neke nove minerale. U našim serpentinitima, što su se razvili po Bosni i Srbiji nalazimo vrlo često kremenu (kvarcnu) tvar, koja se pojavljuje kao gel, kao amorfan mineral, opal, a postala je preobražavanjem olivina u serpentin. Među amorfne minerale mećemo i boksit, koji se raširio po našem kršu (karstu) u silnim količinama, zatim neke manganske minerale, na pr. psilomelan, koji se kadikad nalaze po stijenama kao prevlake u formi grančica, t. zv. dendrita<sup>3)</sup> (sl. 43.).



Sl. 43. Dendriti psilomelana.

Amorfni minerali nisu postojani; prelaze vrlo lako u kristalizovano stanje. Mnogi minerali, koji su danas kristalizovani, bili su nekad amorfni. Lijepo se to opaža kod vulkanskih stijena, koje su se razvile djelomice kao staklo. Za primjer ćemo navesti vulkanske stijene gore Ivanščice u sjevero-zapadnoj Hrvatskoj. Jedan dio tih stijena dospio je da se iskristalizuje u neke minerale, ali jedan dio naglo se ohladio i prešao u amorfnu masu, u staklo. I još se i danas vidi mjestimice, kako u staklenoj masi leže kristali nekih minerala. Mjestimice je staklena masa amorfna. Sve nam to govori, da se neki mineral može razviti i kao amorfan i kao kristalizovan. Kremenova tvar  $\text{SiO}_2$ , na pr. može se razviti u jasnim kristalima kao kremen (kvarc), ali ista ta tvar može se razviti i kao amorfan mineral, t. j. kao opal<sup>4)</sup>.

<sup>1)</sup> Od lat. *gelu*, mraz, očvršćavanje.

<sup>2)</sup> Od grč. *póros*, put kroz vodu.

<sup>3)</sup> Od grč. *déndron*, drvo.

<sup>4)</sup> P. Groth: Elemente der physikalischen und chemischen Krystallographie, pag. 1. München und Berlin 1921. — O. Lehmann: Molekularphysik, I. Bd. pag. 703. Leipzig 1888. — P. P. Weimarn: Zur Lehre von den kolloiden, amorphen, und kristallinen Zuständen. Zeitschrift für Chemie und Industrie der Kolloide, Jahrgang II,

### Kristalografija ili kristalna geometrija.

Čuli smo, kako je došlo do razvitka kristala: mineralna tvar rasla je u raznim smjerovima raznom brzinom i konačno je izrasla u poliedarsko tijelo, u kristal. Kojom će brzinom mineralna tvar rasti u raznim smjerovima, zavisi o fizičko-kemijskim prilikama (toplina, tlak, koncentracija i priroda otopine), u kojima se tvar nalazi, pa o onim silama, što vladaju medju mineralnim česticama, a pomoću kojih se mineralne čestice medju sobom privlače. Svaka mineralna tvar, na pr. kamena so, ima svoje privlačive sile, koje su za nju stalne, a različite su od sila u nekoj drugoj mineralnoj tvari, na pr. u kremennoj (kvarcnoj). Zbog toga će i svaka mineralna vrsta imati svoje zasebne forme, koje su za nju karakteristične i po kojima će se ona razlikovati od svake druge mineralne vrste. Zato je vrlo važno upoznati formu minerala. One i ako nisu onako raznolike kao forme organizovana svijeta, biljke i životinje, nisu zato manje zanimljive. Razvitak je tih forma potvrđen stalnim zakonima i onaj, koji upravlja tim zakonima, pokazao se je kod gradnje kristala nedostiživim majstorom. U tim malim kristalima sakriveno je toliko sklada i ljepote, da proučavanje njihovo zaokuplja čovjeka neobičnom snagom. Sitne njihove plohe (pljosni), uzani bridovi (ivice) i šiljati uglovi (rogljevi) stoje u stalnim međusobnim odnosima kao odražaj unutrašnje gradje, strukture minerala, ali su i u stalnom odnosu prema fizičkim i kemijskim osobinama minerala tako, da već iz forme minerala možemo više puta dobiti sliku o fizičkim i kemijskim osobinama njegovim. Ali, kako da se upoznamo s tim formama? Kako da osjetimo onaj sklad, što postoji medju formom i ostalim osobinama minerala? U te će nas tajne uvesti kristalografija ili kristalna geometrija, koja se bavi zakonima, što postoje medju kristalnim formama. Valjat će dakle pažljivo posmatrati sam kristal i potražiti sve ono, što ga čini ne samo golom geometrijskom formom, nego mineralnim individuom, koji u svojoj formi krije bit svoju.

Ako je spoljašnja forma kristala odražaj njegove unutrašnje gradje, dakle odražaj fizičkih svojstava kristala, onda i kristalografija, proučavajući vanjske forme kristala, proučava ujedno i unutrašnju njegovu gradju, bavi se dakle izučavanjem fizičkih svojstava kristala. Prema tome je kristalografija zapravo dio fizike, i nije ograničena možda na samo opisivanje spoljašnje forme kristala. Kako proučava zakone, koji upravljaju vezom izmedju spoljašnjosti i nutrine kristalove, bilo bi tačnije da je zovemo kristalognozijom<sup>1)</sup> negoli kristalografijom. Baveći se spoljašnjošću kristala ili, tačnije, zakonima, što pag. 76. — Zur Lehre von den Zuständen der Materie. Ibidem pag. 199., 230., 275., 301., 326. — Grundzüge der Dispersoidchemie, Dresden 1911. — Къ учению о состояніяхъ матеріи [Основанія кристаллизационной теоріи необратимыхъ коллоидовъ]. С. Петербургъ 1910. —

<sup>1)</sup> Od grč. *gnósis*, znanje.



upravljaju spoljašnjošću njegovom, rješava kristalografija neka geometrijska i matematička pitanja pa je u tom smislu ona geometrijska ili matematička kristalografija. Fizička kristalografija bavi se proučavanjem različitih fizičkih svojstava u anizotropnoj homogenoj tvari, u kristalu, i s njom ćemo imati posla u mineralnoj fizici.

**15. Plohe (pljosni), bridovi (ivice) i uglovi (rogljevi) sastavljaju kristal.** Raste kristal; raste, kako smo rekli, sa ravnim *plohama*, koje su razno položene i one se sijeku negdje dvije, negdje tri i više njih. Tamo gdje se sijeku dvije plohe, sijeku se u jednom pravcu, koji zovemo *bridom*; gdje se sijeku tri i više ploha, sijeku se u jednoj tački, koju zovemo *uglom (rogljem)*. Plohe (pljosni), bridovi (ivice) i uglovi (rogljevi) oni su elementi, od kojih je sastavljen kristal. Ti elementi stoje u međusobnom odnosu, koji se da izraziti ovako:

$$P \text{ (plohe)} + U \text{ (uglovi)} = B \text{ (bridovi)} + 2;$$

iz čega slijedi:

$$B \text{ (bridovi)} = U \text{ (uglovi)} + P \text{ (plohe)} - 2, \text{ ili:}$$

$$P \text{ (plohe)} = B \text{ (bridovi)} - U \text{ (uglovi)} + 2.$$

Tako na pr. oktaedar ima 8 ploha (P), 6 uglova (U) i 12 bridova (B), dakle:

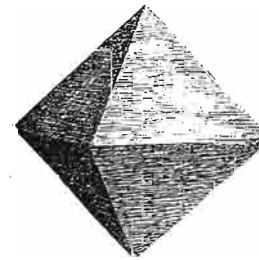
$$8 + 6 = 12 + 2,$$

ili heksakisoktaedar

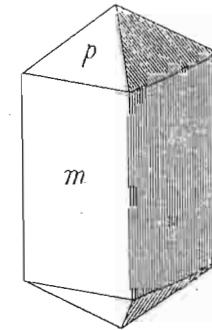
$$48 + 26 = 72 + 2.$$

Naglasili smo, da svaka mineralna vrsta ima svoje zasebne forme, koje su za nju značajne, pa ipak rijetko kada nalazimo kristale jednoga te istoga minerala, koji bi bili svojom spoljašnjošću potpuno jednaki. Izvanju jednakost, jednakost kristalne forme poremećuju same plohe, koje u najviše slučajeva nisu geometrijski jednake, nego su na različite načine razvučene. Kad ih posmatramo na slobodnom kristalu, vidimo skoro uvijek, kako svakoj plohi odgovara na protivnoj strani druga, njoj paralelna ploha. Sve te plohe, što se pojavljuju na kristalu, nisu iste vrste; one, koje pokazuju ista fizička svojstva, zovu se *plohama iste vrste* ili *istovetnim plohama* i osobina je njihova, da kod potpuno razvita kristala ne može doći jedna bez druge: čim se stane razvijati jedna, eto za njom i svih ostalih. Tako na pr. kad raste oktaedar alaunov, ne može da izraste nikako drugačije nego sa osam ploha, jer su te plohe iste vrste, a iste su vrste i bridovi (ivice) i uglovi (rogljevi). Neka se u početku alaunova razvitka razvije oktaedar sa svih osam istovetnih ploha (sl. 34.). Najednom nadodju takve prilike i na oktaedru se stanu pojavljivati nove plohe. Pojavi se najprije ploha na jednom bridu (ivici) i otupljuje brid (sl. 35.), ali u isti čas pojavljuju se plohe i na ostalim oktaedrovim bridovima (ivicama). Ako se pojavi nova ploha na uglu (roglju) pa ga sve većma otupljuje, pojaviti će se ona i na ostalim istovetnim uglovima (sl. 36.).

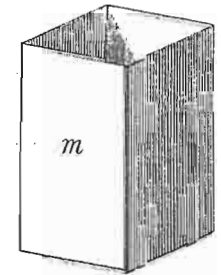
**16. Kristali se mogu razviti ili u jednostavnim formama ili u kombinacijama.** Kad se na kristalu razvijaju samo istovetne plohe, na pr. samo plohe oktaedra ili samo plohe heksaedra, onda takav kristal zovemo *jednostavnim*. Ako na jednostavnom kristalu istovetne plohe sa svih strana zatvaraju prostor kristala, onda je jednostavna forma *zatvorena* (sl. 44. i 45.). Jednostavne zatvorene forme tvori na pr. oktaedar ili heksaedar. Ali jednostavna kristalna forma može biti i *otvorena*, dakle takva, gdje istovrsne plohe ne zatvaraju prostor kristalov sa svih strana (sl. 46.). Takve su otvorene forme na pr. tetragonske prizme. Dabome da je nemoguć razvitak otvorenih forma, pa se u prirodi ovakovoj jednostavnoj formi pridružuje neka druga jednostavna forma te se razvije kristal, koji je sastavljen od ploha razne vrste, od ploha, koje nisu sve medju sobom istovetne, koje dakle ne pripadaju samo jednoj jednostavnoj kristalnoj formi, nego su to plohe od dviju ili više jednostavnih forma (sl. 45.). Ovakove kristale, koji su sastavljeni od ploha razne vrste, t. j. od više jednostavnih forma, zovemo *kombinacijom*<sup>1)</sup>. Kristalne su kombinacije medju mineralima raširenije od jed-



Sl. 44. Jednostavan kristal; zatvorena forma.



Sl. 45. Kombinacija kristalna; zatvorena forma.



Sl. 46. Otvorena forma.

nostavnih forma, pa su i plohama daleko bogatije negoli jednostavne forme. Najveći broj ploha, što ih može imati jednostavna kristalna forma, jednostavan kristal, iznosi 48; preko toga broja priroda ne ide. Najmanji broj ploha, što ih može imati neka kristalna forma, iznosi 1. Dabome da forme sa jednom plohom ne mogu dolaziti same za sebe kao jednostavne forme nego samo kao kombinacije<sup>2)</sup>.

**17. Na kristalu su samo kutovi (uglovi) stalni.** Plohe (pljosni), bridovi (ivice) i uglovi (rogljevi) geometrijski su elementi kristala. Plohe

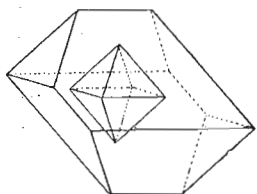
<sup>1)</sup> Od lat. *combinatio*, sastavljanje.

<sup>2)</sup> G. Tschermak: Lehrbuch der Mineralogie. Achte Auflage, pag. 33. Wien und Leipzig 1922. — C. F. Naumann und F. Zirkel: Elemente der Mineralogie. Fünfte Auflage pag. 12. Leipzig 1907.

se sijeku u uglovima (rogljevima) i bridovima (ivicama), međusobno su nag-nute, neke više, neke manje i tim svojim nagibom tvore kutove (uglove), koje zovemo *plošnim kutovima* (uglovima). A isto tako i bridovi (ivice), tamo gdje se sijeku, dakle u uglovima (rogljevima), tvore kutove (uglove) t. zv. *bridne kutove* (uglove). Plohe su a s njima bridovi (ivice) i uglovi (rogljevi) vrlo promjenljive; neke mogu da brže rastu, neke polaganije, pa će zato neke biti manje, neke veće stvarajući tako razvučeni kristal. Ali dok su plohe promjenljive, nešto kod njih ostaje uvijek stalno, nepromijenjeno: smjer njihova rasteanja. Teklo rasteanje kristala brže ili sporije, *smjer rasteanja ostaje uvijek stalan, nepromjenljiv*. Plohe kod rasteanja kristala pomiču se uvijek paralelno svome prvotnome položaju, a posljedica je toga, da njihov međusoban nagib ostaje uvijek isti, nepromijenjen, dakle je i kut (ugao), što ga te plohe tvore, stalan, nepromjenljiv. Razvijao se dakle neki kristal, na pr. kremenov (kvarcov), pod kakvim god prilikama: ili iz lave ili iz plina (gasa) i pare ili iz vodene otopine, pa našli ga na kojem god dijelu našega planeta i bio on ma kako nepravilnih ploha, uvijek on ima stalne kutove (uglove). Tu pojavu zovemo u kristalografiji *zakonom o stalnosti plošnih ili bridnih kutova (uglova)*.

Zakon je taj našao putem iskustva danški kristalograf *Nikola Stensen* (*Steno*), koji je u sedamnaestom vijeku živio u Firenci. U svom djelu „De solido intra solidum naturaliter contento“, koje je izašlo u Firenci 1669., ističe Steno, da su kod sitnih kao i kod velikih kristala jedne te iste stvari plošni kutovi (uglovi) uvijek isti. Stenonov zakon o stalnosti plošnih kutova (uglova) našao je prvu jaku potporu u tačnim mjerenjima, koja je na mnogim kristalima obavio francuski kristalograf *Romé de l'Isle*, a iznio ih je u djelu „Essai de Cristallographie“, koje je izašlo u Parizu 1772.

Na osnovi Stenonova zakona možemo lako izmijeniti vanjsko lice kristala, da pri tom ne promijenimo ni u čemu veličinu plošnih kutova (uglova). Treba samo da pomičemo plohe i bridove (ivice) paralelno nji-



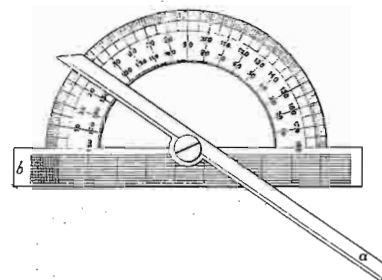
Sl. 47. Razvučeni kristal; oktaedar.

hovorom iskonskom položaju pa ćemo dobiti kristal, koji će na oko pokazivati posve novu poliedarsku formu; od idealna kristala možemo dobiti razvučeni kristal, ako plohe iste vrste paralelnim pomicanjem različito uvećamo (sl. 47. i 27.), a od razvučena kristala idealan kristal, ako paralelnim pomicanjem sve istovetne plohe učinimo jednake veličine. To je bilo poznato i Stenonu, koji je upozorio na način rasteanja kristala putem slojevitoga slaganja mineralnih čestica tako, da je zakon stalnosti plošnih

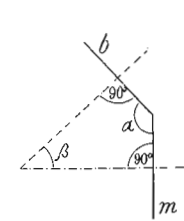
paralelnom pomicanju ostaju plošni kutovi (uglovi) potpuno nepromijenjeni.

Za upoznavanje prirode kristala zakon o stalnosti plošnih kutova (uglova) od velike je važnosti; on je osnova kristalografije. Poznavajući kutove (uglove) nekoga kristala možemo iz njih saznati za sva ostala geometrijska svojstva, a u nekim slučajevima i za fizička i kemijska.

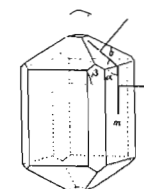
**18. Pomoću goniometra možemo na kristalu da izmjerimo kutove (uglove).** Kad su plošni ili bridni kutovi (uglovi) tako važni, valja da ih upoznamo, jer će nam oni objasniti mnogu tajnu, što se krije u kristalu; oni će nam pomoći da upoznamo bit minerala. U tu je svrhu francuski umjetnik *Carangeot*, koji je za kristalografa *Romé de l'Isle*-a priredjivao kristalne modele, sastavio g. 1783. metalni goniometar<sup>1)</sup>; goniometar je taj sastavljen od pomična kraka *a*, koji je u vezi sa polukrugom, na kom su unešeni stupnjevi (sl. 48.). Kako se krak da pomicati, to se kod mjerenja kutova (uglova) pristoni tačno uz plohe kristala, ali tako da krak *a* i dio goniometra *b* budu okomiti na brid kristala; na polukrugu se sada pročita veličina plošnoga kuta (ugla)  $\alpha$ , koji je ujedno unutarnji kut (ugao). Ako iz nutrine kristala puštamo normale (okomice) na kristalne plohe, dobit ćemo t. zv. normalni kut (ugao)  $\beta$ , koji je ujedno vanjski kut (ugao)



Sl. 48.



Sl. 49.



Sl. 50.

(sl. 49., 50.). Normalni je kut (ugao) jednak  $180 - \alpha$ . Na Carangeot-ovu goniometru unijeti su unutarnji (plošni) i vanjski (normalni) kutovi (uglovi).

Carangeot-ov goniometar poznat je pod imenom *kontaktnoga*<sup>2)</sup> *goniometra*, jer se kod mjerenja kutova (uglova) kraci goniometra dodiruju kristalnih ploha. Mjerenja pomoću toga goniometra nisu najtočnija; pogreška iznosi oko  $1^\circ$ . Sa Carangeot-ovim goniometrom radio je slavni francuski kristalograf *Haüy*, koji je na osnovi tih mjerenja postavio prve principe kristalografije. Danas imamo kontaktnih goniometara razne kon-

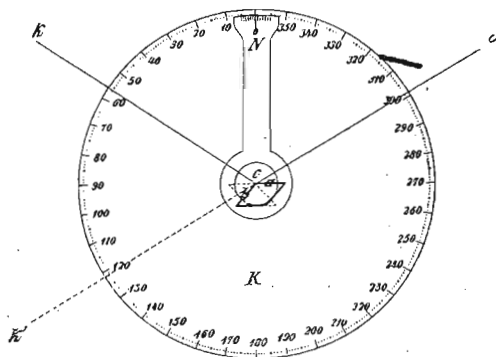
<sup>1)</sup> Od grč. *gonia*, kut (ugao) i *metron*, mjera.

<sup>2)</sup> Od lat. *contactus*, dodir.

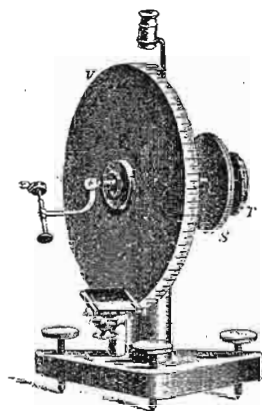
strukcije, od kojih je vrlo jednostavan i jeftin *Penfild*-ov goniometar od kartona ili od celuloida.

S kontaktnim goniometrom možemo mjeriti samo oveće kristale; zato on služi mnogo i kod priredjivanja kristalnih modela. Ali gdje su se kristali razvili u sitnim individuima, tu zamjenjujemo kontaktni goniometar sa t. zv. *refleksnim*<sup>1)</sup> goniometrom, kojega je sastavio g. 1809. engleski mineralog *Wollaston*. Refleksni je goniometar osnovan na refleksiji svjetla: Kad svjetlo dospije do površine nekoga tijela, na pr. do površine kristala, ono jednim dijelom udje u to tijelo, a drugim se dijelom odrazi (reflektira). Što je površina tijela ravnija i gladja, refleksija je svjetla jača. Želimo li dakle mjeriti kutove (uglove) nekoga kristala, mora on imati ravne i posve glatke plohe, da dodje do što jače refleksije.

Na *Wollastonovu* (refleksnom) goniometru radi se u glavnom ovako: Krug (limbus) *K*, koji se okreće zajedno sa svojom osovinom, razdijeljen je na 360 stupanja (sl. 51.), a svaki stupanj na minute. Sa limbusom je u vezi nonius (kazaljka) *N*, koji je nepokretan, a razdijeljen je na minute i služi za čitanje stupanja i minuta na limbusu. Osovina kruga ističe se kratkim svojim dijelom iznad kruga i na taj se dio pričvrsti pomoću voska kristal, čije kutove (uglove) želimo mjeriti. Kristal treba sada centrirati i justirati; *centriramo* ga tako, da se brid (ivica), u kom se sijeku dvije plohe, kojih kut (ugao) imamo mjeriti, u svom produljenju dotiče tačno sredine kruga. Kad smo kristal centrali, mi ga *justiramo* tako, da spomenuti brid (ivicu)



Sl. 51.



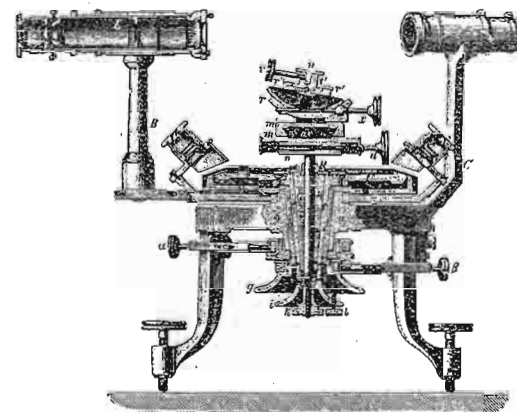
Sl. 52.

postavimo okomito na ravninu kruga. Neka se od tako centrirana i justirana kristala nalazi ploha *a* u takom položaju, da se oku kod *o* prikaže virtualna slika predmeta kod *k* u položaju *ock'*, virtualna će se slika pred-

<sup>1)</sup> Od lat. *reflĕctere*, odraziti.

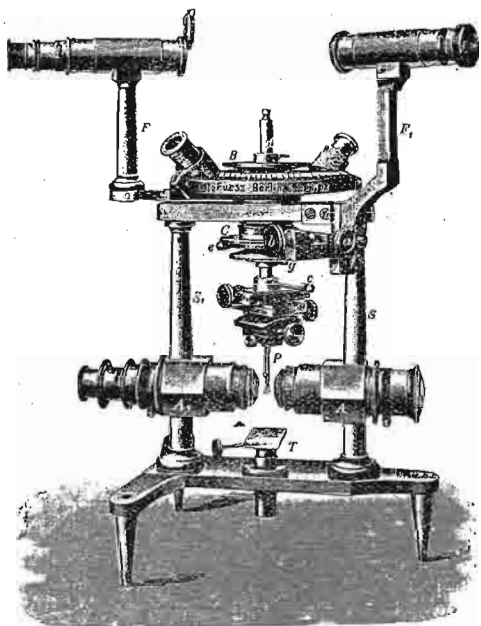
meta kod *k* prikazati opet oku kod *o* u smjeru *ock'*, kad okretanjem dovedemo plohu *b* u položaj, u kom je prije okretanja bila ploha *a*, t. j. svjetlo, koje dolazi od *k* na plohu *a*, reflektira se od plohe *a* u oko kod *o*; ako okrenemo kristal oko brida (ivice) *a/b* tako, da ploha *b* dodje u položaj plohe *a*, opet će se od plohe *b* reflektirati svjetlo u oko kod *o*. Okretaj od položaja plohe *a*, kad ona reflektira svjetlo, do položaja plohe *b*, kad i ona reflektira svjetlo, kaže nam veličinu kuta (ugla), što ga tvore plohe *ab*; to je kut (ugao) *bca*, dakle izvanji ili normalni kut (ugao), koji se dakako razlikuje od unutarnjega ili plošnoga kuta (ugla) *bca*. Pomoću refleksnoga goniometra dobivamo samo normalne kutove (uglove); njihovi suplementi daju unutarnje ili plošne kutove (uglove), što ih dobivamo mjerenjem pomoću kontaktnoga goniometra.

*Wollastonov* refleksni goniometar (sl. 52.) sastavljen je od vertikalnoga kruga *V*, a svjetlo pada direktno od svoga izvora (na pr. od svijeće) na plohe kristala. Da se dobiju ispravni refleksi, mora oko sa istoga mjesta posmatrati refleksiju svjetla sa jedne i sa druge plohe. Zato se kod mjerenja već u početku odabere neka značka *z* tako, da kod opažanja prvog i drugog refleksa bude značka i reflektovana zraka u istom smjeru, t. j. da se pri posmatranju refleksna slika i značka *z* pokrivaju.



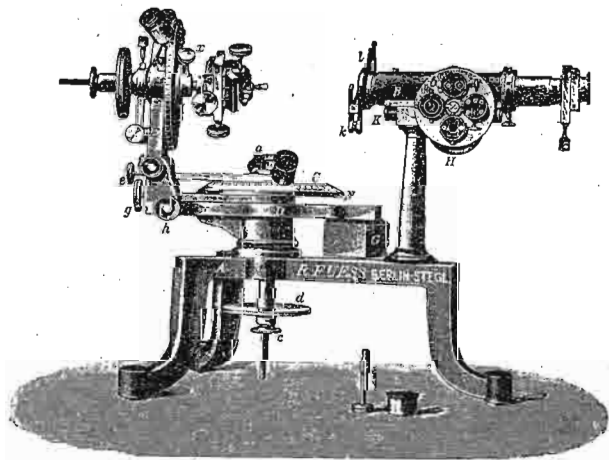
Sl. 53. Prerez kroz refleksni goniometar.

Danas je refleksni goniometar znatno usavršen te imamo raznih modela refleksnih goniometara, koji daju vrlo tačna mjerenja. Da oko uvijek s istoga mjesta posmatra reflektovane zrake, sastavljeni su goniometri (sl. 53.) od nepomična kolimatora na dršku *C*, kroz koji ulazi svjetlo i pada na plohu kristala u paralelnim zrakama; od plohe se svjetlo reflektira i dolazi u oko kroz durbini na dršku *B*, koji se može učiniti nepomičnim. Usavršenje *Wollastonova*



Sl. 54.

da se otupljuje neki brid na oktaedru,

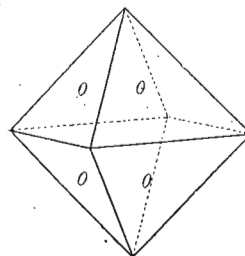


Sl. 55.

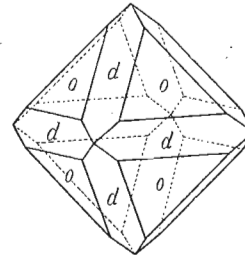
refleksnoga goniometra proveo je prvi *Malus*, pa još više *Mitscherlich*. Moderni refleksi goniometri sastavljeni su ili od horizontalnoga kruga po sistemu *Malus-Babinet*-ovu (sl. 54.), ili od horizontalnoga i vertikalnoga kruga po (sl. 55.) sistemu *Goldschmidt*-ovu i *Feodorovu* (t. zv. teodolitni goniometar<sup>1)</sup>).

19. Kad se na kristalu razviju plohe razne vrste, vezane su one medju sobom paralelnim bridovima (ivicama). Kad se tokom razvitka kristalova stanu na njemu javljati nove plohe (11), događa se to tako, da su nove plohe sa prijašnjima vezane paralelnim bridovima (ivicama). U početku je na pr. narastao kristal samo u formi oktaedra (sl. 56.). Budi s kojega razloga počinje t. j. na njegovu mjestu razvija

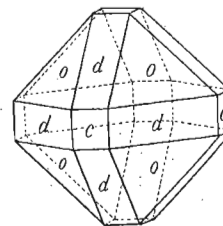
se nova ploha. Kako su bridovi oktaedra iste vrste, to će se nova ploha razvijati i na svim ostalim bridovima: na mjestu 12 bridova razvilo se 12 ploha, koje su sa ploham oktaedra povezane paralelnim bridovima (sl. 57.). Ali se pojavljuju plohe i na uglovima (rogljevima), pa kako su svi oktaedrovi uglovi (rogljevi) istovetni, svi će oni biti otupljeni ploham, koje su povezane paralelnim bridovima i sa ploham oktaedra i sa onim plo-



Sl. 56.



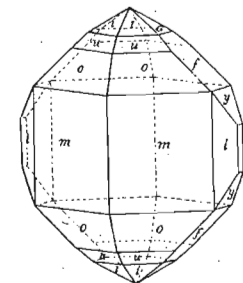
Sl. 57.



Sl. 58.

hama, što su se razvile na mjestu bridova (sl. 58.). Cim se dakle na kristalu razviju dvije ili više jednostavnih forma (16), t. j. čim je došlo do razvitka kombinacije ili raznovrsnih ploha, sve su one vezane medjusobno paralelnim bridovima. To je jedini mogući slučaj kod kristala.

20. Plohe, koje leže paralelno nekom bridu (ivici), čine zonu. Pojava, da se plohe sijeku u paralelnim bridovima stalna je. I kad posmatramo kristale, vidjet ćemo, kako više ploha imaju paralelne bridove. Taj skup ploha, koji je povezan paralelnim bridovima, čini zonu<sup>1)</sup>; zona je dakle skup ploha na kristalu, koje leže paralelno nekom bridu (ivici) ili, po definiciji mineraloga *Weissa*, skup ploha, koje su sve paralelne jednom te istom pravcu. Taj pravac (na kristalu brid) zove se os zone. Ravnina, koja siječe okomito sve plohe neke zone, dakle i os zone, zove se ravnina zone. Na kristalu topaza (sl. 59.) plohe *lmmlc* tvore zonu; isto tako tvore zonu i plohe *afcyf*, a tvore zonu i plohe *iuomou*. Na kristalu dakle može biti više zona. Sve plohe, koje leže u jednoj zoni, zovu se *tautozonalne*<sup>2)</sup> plohe. Kazali smo: kad se pri rasteñju kristala stane javljati na nekom bridu ili na nekom uglu (roglju) nova ploha, javlja se ona i na svim drugim istovetnim bridovima ili uglovima. Dolazi tako do razvitka zona, gdje se sve plohe, koje tvore jednu zonu, sijeku u paralelnim bridovima. Tako



Sl. 59.

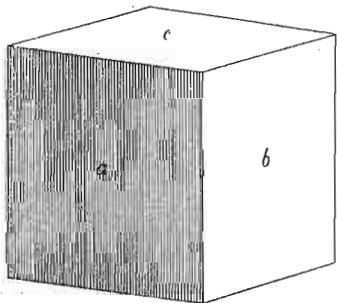
<sup>1)</sup> *P. Groth*: Physikalische Krystallographie. Vierte Auflage, pag. 21. i 632. Leipzig 1905. — *C. Leiss*: Die optischen Instrumente, pag. 108.

<sup>1)</sup> Od grč. *zónē*, pojas.

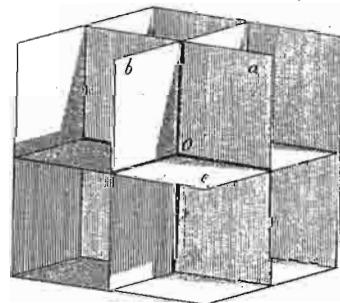
<sup>2)</sup> Od grč. *tautós*, isti.

se na pr. u teseralnom sustavu može razviti čitav niz ploha, koje su sve paralelne oktaedrovu bridu; takove su plohe oktaedar, heksaedar, rompski dodekaedar, deltoidski ikozitetaedar, triakisoktaedar i heksakisoktaedar. Ali se u teseralnom sustavu može razviti čitav niz ploha, koje su paralelne i heksaedrovu bridu, na pr. heksaedar, tetrakisheksaedar, rompski dodekaedar i t. d. Iz oktaedra može se razviti rompski dodekaedar, ako se bridovi oktaedra ravno otupe plohama; prema tome plohe rompskoga dodekaedra leže u zoni oktaedrovih bridova. Ali i heksaedar ima 12 bridova, pa će i tu ravnim otupljivanjem bridova postati rompski dodekaedar sa 12 ploha, koje leže u zoni heksaedrovih bridova. Rompski dodekaedar leži dakle u dvije zone: u zoni oktaedra i zoni heksaedra i prema tome je položaj rompskoga dodekaedra tačno određen. Iz toga možemo povući ovaj općeniti zakon: *položaj je neke plohe na kristalu tačno određen, ako ona leži u dvije poznate zone (29), pošto je položaj neke ravnine tačno određen, ako je ona paralelna sa dva poznata pravca. Kako se da iz dvije poznate zone tačno odrediti položaj plohe, koja leži u te dvije zone, jednako se da iz dvije poznate plohe odrediti zona. Na tom stalnom odnosu između ploha i zona osnovan je važan zakon u kristalografiji, t. zv. zakon o zonama. Taj zakon kaže, da su na nekom kristalu moguće samo one plohe, koje su medju sobom povezane zonama<sup>1)</sup>.*

**21. Položaj plohe na kristalu određuju kristalne osi.** Kristal može biti sastavljen od jedne jedine forme (jednostavna forma) ili od dvije i više forma (kombinacija). Bio on jednostavna forma ili kombinacija, uvijek je omeđen plohama (poliedar). O položaju ploha zavise forme kristala, pa želimo li tačno upoznati njegove forme, moramo upoznati tačno položaj ploha. Taj položaj tačno određuju kristalne osi. Gdje su te kri-



Sl. 60.

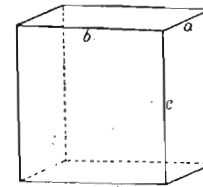


Sl. 61.

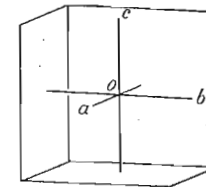
<sup>1)</sup> C. Neumann: Franz Neumanns Beiträge zur Krystallogonomie aus den Jahren 1823. und 1826. Abhandlungen der mathematisch-physischen Klasse der königlichen sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften. Leipzig 1917. pag. 206.

stalne osi i što su? Mi ih na kristalu ne vidimo; to su zapravo neki pomišljeni pravci, što prolaze središtem kristala sijekuci se u tom središtu. Do njih ćemo najlakše doći, ako odaberemo na nekom kristalu, na pr. na heksaedru (sl. 60.), tri plohe, koje se sastaju u jednom uglu (roglju). Zamislimo sada, da svaku od te tri plohe pomikemo prema središtu kristala, ali tako, da to pomicanje teče uvijek paralelno prvotnom položaju plohe. Nakon nekoga vremena sve tri će plohe dospjeti u središte kristala i tu će se sjeći u tri pravca, koji se sastaju u jednoj tački, koja je ujedno i središte kristala. *Ta tri pravca zovu se osima kristala.* Na slici 60. imamo heksaedar sa plohama  $abc$ . Pomaknemo li plohe prema središtu, sjeći će se u tri pravca, koji se sastaju u jednoj tački  $O$  (sl. 61.). Pravci  $abc$  jesu osi heksaedra.

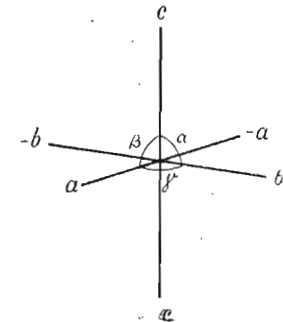
Do osi kristala možemo doći i tako, da odaberemo tri brida (ivice), koji se sastaju u jednom uglu (roglju). Te bridove pomikemo paralelno njihovom prvotnom položaju prema središtu kristala, gdje će se sjeći u jednoj tački; došli smo dakle opet do tri pravca, koji se sijeku u središtu kristala. Neka budu na slici 62.  $abc$  bridovi heksaedra. Kad ih pomaknemo prema središtu kristala, sjeći će se u tri pravca  $abc$ , koji se sastaju u tački  $O$  (sl. 63.). Tri pravca  $abc$  jesu osi heksaedra. Tako možemo na svakom kristalu naći njegove osi.



Sl. 62.



Sl. 63.



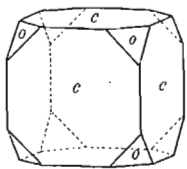
Sl. 64.

Kristalne osi tvore svojim međusobnim položajem t. zv. *osni krst* (sl. 64.). Gornji dio vertikalne osi iznad središta  $O$  jest pozitivan (+), donji ispod središta  $O$  negativan (-), dio osi, što se pruža na desno od središta  $O$ , jest pozitivan (+), a onaj, što se pruža na lijevo, negativan (-); pozitivan je i onaj dio osi, koja je uperena prema posmatraču s prednje strane od središta, a onaj dio sa stražnje strane je negativan. Osi leže u nekoj ravnini, koju zovemo *osnom ravninom* i stvaraju medju sobom t. zv. *osne kutove* (uglove) i to os  $c$  i  $b$  kut (ugao)  $\alpha$ , os  $c$  i  $a$  kut (ugao)  $\beta$ , os  $a$  i  $b$  kut (ugao)  $\gamma$ .

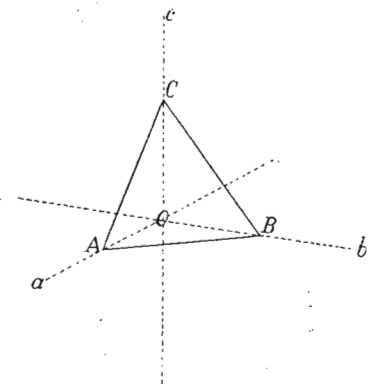
Osni kutovi (uglovi)  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  i dvije osi  $a$  i  $c$  (os  $b$  se uvijek uzima da je jednaka 1), zovu se *pet kristalnih elemenata*. Ako poznamo svih pet kristalnih elemenata, poznamo i sve plohe, koje su na nekom kristalu moguće.

Prvi je došao na misao o kristalografskim osima *R. J. Haüy*; tu je misao prihvatio *Chr. S. Weiss* i on je g. 1809. uveo kristalne osi kao osnovne elemente u kristalografiji.

**22. Plohe su na kristalu tako položene da sijeku osi u nekoj udaljenosti.** Pomoću tri plohe heksaedra  $abc$  ili pomoću njegova tri brida  $abc$  našli smo njegove osi  $abc$ . Na uglovima (rogljevima) heksaedra razvile su se plohe  $o$  (sl. 65.). Te su plohe nagnute prema sve tri osi i ako ih produljimo, one će sjeći osi u nekoj udaljenosti od središta. Označimo jednu od tih ploha slovima  $ABC$ ; kako smo je produljili, siječe ona os  $a$  u  $A$ , os  $b$  u  $B$ , os  $c$  u  $C$  (sl. 66.). Ploha  $ABC$  siječe dakle osi  $abc$  u udaljenosti  $OA$ ,  $OB$ ,  $OC$ . Dužine  $OA$ ,  $OB$ ,  $OC$  zovemo parametrima<sup>1)</sup>.



Sl. 65.



Sl. 66.

*Parametri su dakle odsjeci na osima* i kazuju nam, u kojoj udaljenosti od središta siječe neka ploha osi. Kako je položaj plohe na kristalu samo onda tačno određen, ako znamo, u kojoj udaljenosti od središta ona siječe osi, to je poznavanje parametara od osnovne važnosti za određenje kristala. Svakoј plohi na kristalu moramo naći njene parametre.

Ako u slici 66. označimo dužine  $OA$  sa  $a$ ,  $OB$  sa  $b$ ,  $OC$  sa  $c$ , onda ploha  $ABC$  ima parametre  $abc$ ; oni tačno određuju njezin položaj prema osima. Parametri  $OA$ ,  $OB$ ,  $OC$  pokazuju dužinu odsječaka na osima; to su dužine, koje se daju izraziti budi kojom mjerom, na pr. milimetrima, a *odnos parametara*  $a : b : c$ , koji se zove i *odnos osi*, jest odnos tih dužina; on se da izraziti nekim brojevima, dakle je to neki brojni odnos, koji pokazuje samo relativne, a ne apsolutne dužine parametara. Tako na pr.

<sup>1)</sup> Od grč. *pará*, pokraj i *mètron*, mjera.

imamo kod aragonita  $\text{CaCO}_3$  (sl. 67.) plohu  $p$ , kojoj smo našli ovaj odnos parametara (ili osi).

$$a : b : c = 0,7613 \dots : 1,223 \dots : 0,8814 \dots$$

Taj odnos parametara (ili osi) bilježimo tako, da jedan od ovih brojeva svedemo na 1, i to uvijek onaj broj, koji se odnosi na os (ili parametar)  $b$ . Prema tome imali bismo za plohu  $p$  ovaj odnos osi (parametara):

$$a : b : c = 0,6224 \dots : 1 : 0,7205 \dots$$

Ploha  $s$ , koja se također razvila na aragonitovu kristalu, ima ovaj odnos osi (parametara):

$$a : b : c = 1,2448 \dots : 1 : 1,4410 \dots; \text{ i t. d.}$$

Pošto na svakoj kristalnoj osi, koja služi i kao brojni pravac, ima daleko više iracionalnih brojeva nego racionalnih, to su redovno brojevi, kojima se izražava odnos osi (parametara) — osim broja 1 — iracionalni, pa zato velimo, da je *odnos parametara (osi) neke plohe na kristalu iracionalan*.

Kad određujemo položaj plohe na kristalu, odabiramo uvijek plohe jedne forme, koju zovemo *osnovnom formom*. Kristal naime sastavljen je većinom od više kristalnih forma, kako to vidimo i na slici 67., koja prikazuje kristal aragonitov sa formama  $mbspk$ . Jednu ćemo od ovih forma uzeti kao osnovnu formu, na pr. formu  $p$ , i njoj ćemo naći odnos osi (parametara):

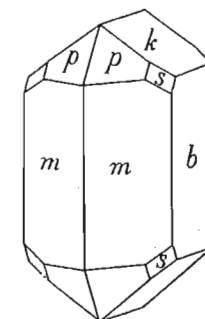
$$a : b : c = 0,6224 \dots : 1 : 0,7205 \dots$$

Sve ostale plohe, koje su se razvile na aragonitu, ili koje su na njemu moguće, svadjamo na osnovnu formu, da vidimo, u koliko su parametri tih ploha veći ili manji od parametara osnovne forme. Obavljamo to tako, da svakoj plohi nadjemo njezin osni odnos, te ga podijelimo sa osnim odnosom osnovne forme. Pa ćemo tako i sam osni odnos osnovne forme podijeliti sa samim sobom:

$$\frac{0,6224}{0,6224} : \frac{1}{1} : \frac{0,7205}{0,7205} = 1 : 1 : 1,$$

te ćemo dobiti odnos osi  $a : b : c$ , gdje se te osi odnose kao 1 : 1 : 1. Osnovna forma nekoga kristala ima uvijek odnos osi  $a : b : c$  ili 1 : 1 : 1. Ne znači to, kako se razabira, da ploha  $p$ , ili koja druga osnovna ploha, siječe osi  $abc$  u jednakoj udaljenosti, nego smo tu formu sveli na taj odnos, da nam služi kao ishodište za sve druge plohe ili kao jedinica mjere. Ako sada podijelimo odnos osi plohe  $s$  sa osnim odnosom osnovne forme, saznat ćemo njezin odnos prema osnovnoj formi i njezin položaj prema osima:

$$\frac{1,2448}{0,6224} : \frac{1}{1} : \frac{1,4410}{0,7205} = 2 : 1 : 2.$$



Sl. 67.

Ploha  $s$  stoji prema osnovnoj plohi u odnosu  $2a:b:2c$ , t. j. ploha  $s$  siječe os  $a$  i  $c$  u dvaputa tolikoj udaljenosti kao što je siječe osnovna ploha  $p$ . Na aragonitu mogla se razviti ploha  $i$  sa parametarskim odnosom  $a:b:c = 1,2448...:1:2,1615...$ ; podijelimo taj odnos s onim odnosom osnovne forme:

$$\frac{1,2448}{0,6224} : \frac{1}{1} : \frac{2,1615}{0,7205} = 2:1:3;$$

dok dakle osnovna ploha (forma) ima parametre  $a:b:c$  ili  $1:1:1$ , dotle ova ploha ima parametre  $2a:b:3c$ . Svagdje ovdje vidimo, da su koeficijenti parametara racionalni brojevi, pa je iskustvo pokazalo, da se na kristalu mogu razviti samo takve plohe, kojih parametarski odnosi stoje prema parametarskom odnosu osnovne plohe (forme) u racionalnom odnosu ili: na kristalu mogu doći samo plohe sa takvim parametarskim odnosom, gdje su koeficijenti racionalni brojevi.

Ako dakle na nekom kristalu dolazi ploha sa osnim (parametarskim) odnosom  $a:b:c$  ili  $1:1:1$ , može neka druga ploha na tom kristalu imati osni odnos  $2a:b:c$ , neka druga  $a:3b:c$ , neka opet  $2a:\infty b:c$ , neka  $\frac{3}{4}a:b:\frac{3}{2}c = (3a:4b:6c)$ , pa  $a:\infty b:\infty c$  ili  $\infty a:4b:5c$  i t. d. Uvijek su tu koeficijenti cijeli brojevi ili razlomci, koje možemo dijeljenjem ili množenjem sa istim brojem učiniti cijelim brojevima; dakle su racionalni brojevi, a nikada iracionalni. Ti su brojevi obično maleni: 1, 2, 3, 4, 5, 6; kod prizmi i pinakoida upotrebljava se još simbol  $\infty$ , koji označuje, da se os proteže u beskonačnost.

Od ovoga pravila odstupaju t. zv. *vicinalne plohe*, koje se kadikad pojavljuju na kristalima nekih minerala, na pr. na kristalima adulara, albita, aragonita, dijamanta, granata i t. d. Na ovim ploham kristala spomenutih minerala vidi se kadšto, kako su te plohe kao slomljene tako, da su sastavljene od više manjih glatkih ploha, od kojih neke znadu biti uzane kao nit, a sve su jedne spram drugih posve neznatno nagnute. Takve slomljene plohe izgledaju kao da su stepeničasto građene, kao da su sastavljene od kompleksa sitnih ploha, koje su često tautozonalne, a nagnute su medju sobom tako slabašno, da se sijeku pod vrlo tupim kutom (uglom). Pojava njihova nije odražaj unutrašnje gradje kristala; one su nastale negdje pri kraju kristalova rasteња, pa su vezane samo za površinu kristala; to su neke površinske pojave na kristalu. I te vicinalne plohe u toliko se udaljuju od običnih ploha na kristalu, što imaju uvijek vrlo komplicirane koeficijente, ali se ipak jako približuju onim ploham, koje imaju male koeficijente<sup>1)</sup>. Tako se na pr. na jednom granatovom kristalu razvio vicinalni tetrakis-

<sup>1)</sup> Poradi toga se i zovu vicinalnima, od lat. *vicinātis*, susjedan, t. j. približuju se ploham sa malim koeficijentima.

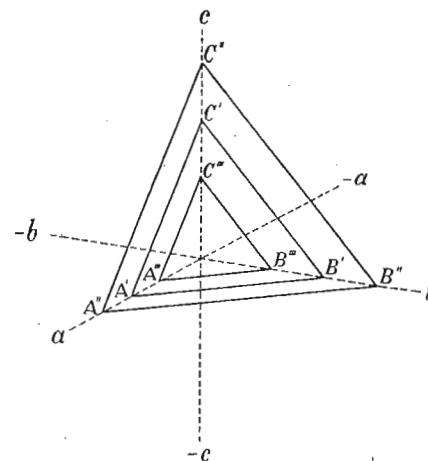
heksaedar sa koeficijentima  $a:\frac{64}{63}a:\infty a$ , koji je vrlo bliz (vicinalan) rompskom dodekaedru sa koeficijentima  $a:a:\infty a$ . Može se na pr. razviti i triakisoktaedar sa koeficijentima, koji su blizu oktaedru, na pr.  $a:a:\frac{42}{41}a$ , pa su plohe takvoga triakisoktaedra vicinalne ploham oktaedrovim, koje imaju parametre  $a:a:a$ , i t. d.

Dok je sam parametarski odnos kristalne plohe iracionalan, dotle su parametarski odnosi svih ploha, svedeni na osni odnos osnovne plohe, racionalni. Tu pojavu zovemo *zakonom parametara ili zakonom o racionalnom odnosu parametara*. Taj je zakon otkrio znameniti francuski mineralog René Just Haüy, osnivač kristalografije, proučavajući strukturu kristala osamdesetih godina XVIII. vijeka.

Ako parametre neke plohe pomnožimo s istim brojem ili s istim brojem podijelimo, ne ćemo dobiti parametre neke nove plohe, nego parametre plohe, koja je onoj prvoj ostala paralelna; t. j. takvim množenjem ili dijeljenjem ostao je položaj plohe prema osima nepromijenjen, dobivamo uvijek istu plohu; odnos je parametara paralelnih ploha uvijek jednak (sl. 68.). Tako na pr. parametarski odnos  $3a:3b:3c$  ili  $\frac{1}{2}a:\frac{1}{2}b:\frac{1}{2}c$  ili  $5a:5b:5c$  prikazuje istu plohu kao i parametarski odnos  $a:b:c$  ili

Koeficijenti su se množenjem jednako uvećali, dijeljenjem jednako umanjili, t. j. ploha se u prvom slučaju udaljila od središta, a u drugom slučaju pomakla bliže središtu; forma je ostala ista, samo je u prvom slučaju veća, u drugom manja. Ta je pojava u skladu sa rastenjem kristala, gdje ploha raste uvijek paralelno svom prvotnom položaju, pa razvukla se ona pri svom rasteњу kako god, njezin je nagib ostao nepromijenjen, stalan (17).

Nov parametarski (osni) odnos, a prema tome i novu plohu dobit ćemo ako svaki parametar pomnožimo ili podijelimo s nekim drugim brojem; plohe imaju uvijek takve parametre, koji su višekratnici osnovne plohe (forme).



Sl. 68. Ploha  $A' B' C'$  pomicanjem od središta uvećala se kao ploha  $A'' B'' C''$ , a pomicanjem prema središtu umanjila se kao ploha  $A''' B''' C'''$ .

Kako ćemo doći do parametara neke kristalne plohe? Mi ih ne mjerimo nikada izravno, nego odnos njihovih dužina izračunamo iz plošnih kutova (uglova).<sup>1)</sup> Kako su plošni kutovi (uglovi) za svaku mineralnu vrstu stalni, tako su i parametri za svaku plohu neke mineralne vrste stalni, nepromjenljivi.

Govoreći o zakonu zona, vidjeli smo, kako je taj zakon odvojio kristalne forme od običnih geometrijskih forma (20); po tom zakonu moguće su samo one forme, koje su međusobom vezane paralelnim bridovima (ivicama). Jednako tako zakon parametara odvaja kristalne forme od običnih geometrijskih forma; po tom zakonu moguće su samo one plohe (forme), koje se dađu izvesti cijelim brojem (ako je potrebno množeći ili dijeleći sve članove omjera s istim brojem) iz osnoga odnosa osnovne plohe (forme).

Haiüy je tako dokazao da su od 5 platonskih ili regularnih tijela — a to su heksaedar, oktaedar, tetraedar, pentagonski dodekaedar, ikozaedar<sup>2)</sup> —, koja su u stereometriji poznata kao tijela omedjena *jednakim plohamama, jednakim bridovima* (ivicama) i *jednakim uglovima* (rogļevima), moguća u kristalografiji samo prva tri — heksaedar, oktaedar i tetraedar —, dok je regularni pentagonski dodekaedar i regularni ikozaedar u kristalografiji nemoguć, pošto koeficijent u njihovu parametarskom odnosu nije racionalan broj. Kod kristalografskoga pentagonskoga dodekaedra, komu je općeni simbol<sup>3)</sup>  $\frac{\infty On}{2}$ , uvijek je po zakonu parametara koeficijent  $n$  racionalan broj, a kod regularnoga pentagonskoga dodekaedra je koeficijent  $n = \frac{1 \pm \sqrt{5}}{2}$ . Isto tako i kod regularnoga ikozaedra nije  $n$  racionalan nego je  $n = \frac{3 \pm \sqrt{5}}{2}$ .

**23. Svaku kristalnu plohu označujemo nekim znakom ili simbolom.** Kad odredjujemo položaj plohe na kristalu, odredjujemo ga njenim parametrima. Ako svakoj plohi navedemo njene parametre, koji su višekratnici osnovne plohe, onda smo toj plohi dali njezin *znak ili simbol*<sup>4)</sup>. Tako osnovna ploha ima znak  $(a:b:c)$ ; sve će druge plohe imati parametre, koji su višekratnici parametara osnovne plohe, na pr.  $(a:2b:3c)$ ,  $(6a:4b:3c)$ ,  $(a:2b:\infty c)$  i t. d. Ovakav način označivanja potiče od njemačkoga mineraloga *Chr. S. Weiss-a*, pa se po njemu zove Weiss-ovim označivanjem ili simbolizovanjem.

<sup>1)</sup> Vidi o tom kod izračunavanja kristalnih elemenata u pojedinim sistemima.

<sup>2)</sup> Ikozaedar je medju mineralima zapravo kombinacija oktaedra i pentagonskoga dodekaedra.

<sup>3)</sup> Vidi o simbolima 23.

<sup>4)</sup> Od grč. *symbolon*, znak.

Općeniti znak ili simbol neke plohe po Weiss-u jest  $ma:nb:pc$ , gdje koeficijenti  $mnp$  znače cijele<sup>1)</sup> obično male brojeve na pr. 1, 2, 3, 4, 5, 6 te  $\infty$ . Iz Weissovih znakova razabiramo neposredno položaj plohe prema osima.

Weiss-ovo označivanje ploha preinačio je njemački mineralog *K. F. Naumann* (god. 1826.) u toliko, da je simbol prenio ne na plohu nego na cijeli lik; to je tako zvano Naumann-ovo označivanje. U tesimalnom sustavu uzeo je Naumann kao osnovni lik za sve forme *oktaedar* i označio taj lik slovom O. Weiss-ove koeficijente, koji se odnose na parametre (osi), bilježi Naumann s jedne i s druge strane slova O, pri tom pretvori uvijek jedan parametar u 1 i taj broj ne bilježi kod svoga simbola. Na pr. osnovni lik, oktaedar, ima po Weissu znak  $(a:a:a)$  a po Naumannu O; Weissov znak  $(a:2a:3a)$  jednak je Naumannovu 3O2 (veći koeficijent dolazi uvijek pred O, manji iza O); Weissov znak  $(a:2a:a)$  jednak je Naumannovu znaku 2O; Weissov znak  $(a:\infty a:2a)$  jednak je Naumannovu znaku  $\infty O2$ ; Weissov znak  $(2a:5a:\infty a)$  jednak je Naumannovu znaku  $\infty O\frac{5}{2}$  (podijelili smo sa 2, da dobijemo jedan parametar 1); Weissov znak  $(2a:3a:3a)$  jednak je Naumannovu znaku  $\frac{3}{2}O\frac{3}{2}$  i t. d. Dok se Weissov znak odnosi samo na jednu plohu neke kristalne forme<sup>2)</sup>, dotle se Naumannov znak odnosi na čitavu formu. Kad želimo i Weissovim znakom označiti čitavu kristalnu formu, mećemo znak u okruglu zagradu ( ), na pr.  $(2a:3a:3a)$ .

U drugim kristalnim sustavima, gdje osi nisu jednake dužine, te se bilježe sa  $abc$ , osnovna forma nije oktaedar nego *piramida*, pa je Naumann u tim sustavima uzeo za oznaku slovo P mjesto slova O. Tako je na pr. Weissov znak  $(a:2b:2c)$  jednak Naumannovom znaku 2P2; Weissov znak  $(a:2b:4c)$  jednak je Naumannovom znaku 4P2; Weissov znak  $(a:3b:\infty c)$

<sup>1)</sup> Gdje su koeficijenti razlomci, mogu se množenjem ili dijeljenjem pretvoriti u cijele brojeve; tim se položaj plohe ne će, kako smo spomenuli (22), promijeniti: na pr.  $\frac{3}{4}a:b:\frac{3}{2}c = 3a:4b:6c$ .

<sup>2)</sup> Kad bismo htjeli Weissovim načinom označiti cijeli oktaedar, morali bismo navesti svih osam ploha iz svih osam oktanata, na pr.:

ploha iz gornjega prednjega	desnoga	oktanta ima znak	$a:a:a$ ,
" "	"	lijevoga	" " " $a:-a:a$ ,
" "	"	stražnjega	desnoga " " " $-a:a:a$ ,
" "	"	lijevoga	" " " $-a:-a:a$ ,
" "	"	donjega prednjega	desnoga " " " $a:a:-a$ ,
" "	"	lijevoga	" " " $a:-a:-a$ ,
" "	"	stražnjega	desnoga " " " $-a:a:-a$ ,
" "	"	stražnjega	lijevoga " " " $-a:-a:-a$ .

Po Naumannu je oznaka za oktaedar O.



jednak je Naumannovom znaku  $\infty P3$ ; Weissov znak ( $a:\infty b:2c$ ) jednak je Naumannovom znaku  $2P\infty$ . Uvijek onaj koeficijent, koji se odnosi na os  $c$  dolazi pred  $P$ , jedan se koeficijent diobom učini jedinicom i ne bilježi se, a drugi dolazi iza slova  $P$ .

Naumannovo označivanje nije onako pregledno kao Weissovo, ali je zato mnogo jednostavnije, jer obuhvata cijelu kristalnu formu, dok se Weissov znak tiče samo jedne plohe neke forme, koja leži u jednom oktantu osnoga krsta.

Označivanje ploha Naumannovim simbolima dosta je rašireno u njemačkoj mineralogiji, ali ga ipak sve više istiskuje Millerov način označivanja, koji je mnogo jednostavniji od Naumannova. Engleski mineralog *W. H. Miller* preinačio je (god. 1835.) Weissove simbole tako, da je za ishodište uzeo, kao i Weiss, osni odnos osnovne forme. Da dobije simbole za ostale forme, on je podijelio osni odnos osnovne forme sa osnim odnosom one forme, kojoj tražimo simbol. Na pr. osni je odnos osnovne forme aragonita  $a:b:c = 0,6224:1:0,7205$ ; njezin ćemo simbol naći, ako osni odnos osnovne forme podijelimo sa samim sobom; dobit ćemo brojeve 1, 1, 1. Osnovna forma ima dakle simbol ili znak {111}. Ploha forme  $s$  na kristalu aragonitovu (sl. 67.) ima osni odnos  $1,2448:1:1,4410$ ; podijelimo li osni odnos osnovne forme sa tim osnim odnosom, dobit ćemo ove

brojeve  $\frac{1}{2}, \frac{1}{1}, \frac{1}{2}$ . Množeći sa 2 pretvorit ćemo ih u cijele brojeve 1, 2, 1,

forma  $s$  ima dakle simbol {121}. Forma na aragonitu sa osnim odnosom  $1,2448:1:2,1615$  ima po Millerovom načinu označivanja simbol {362}. Millerove simbole zovemo *indeksima*<sup>1)</sup>, pa one indekse, koji se odnose samo na jednu plohu, mećemo u okruglu zagradu ( ), na pr. (111), (121), (362). Ako se indeksi odnose na čitavu kristalnu formu, mećemo ih u vitičastu zagradu { }, na pr. {111}, {121}, {362}. Kako vidimo, indeksi nisu ništa drugo nego recipročne vrijednosti Weissovih koeficijenata. Na pr.

Weissov simbol ( $2a:3b:4c$ ) jest po Milleru  $\frac{1}{2}:\frac{1}{3}:\frac{1}{4} = \{643\}$ . Poput koeficijenata i indeksi su uvijek racionalni većinom mali brojevi: 1, 2, 3, 4, 5, 6; vicinalne plohe imaju uvijek vrlo velike indekse.

Prvi, koji je došao na misao označivanja kristalnih forma, bio je *Haüy* (god. 1800.—1809.); on je osnivač kristalne simbolike. Na osnovi svoje teorije o rasteњу kristala dekrescijom ili opadanjem (36) uzeo je *Haüy* za oznaku triju ploha elementarnoga paralelepipeda slova  $P, M, T$  (iz riječi primitiv, t. j. prvotna forma), za oznaku četiriju uglova (rogljeva) samoglasnike  $A, E, I, O$ , a za oznaku šest bridova (ivica) suglasnike  $B, C, D, F, G, H$ . Dekrescijom budu uglovi (rogljevi) ili bridovi za izvje-

stan niz molekula otupljeni. Ta se dekrescijom istakne izvjesnim brojem, koji se meće na slovo, što označuje na pr. ugao (rogalj). Tako na pr. simbol  $\overset{2}{O}$  označuje ugao (rogalj), koji je za dva niza umanjen spram plohe  $P$ , simbol  $\overset{2}{O}3$  označuje ugao (rogalj), koji je umanjen za 2 niza spram plohe  $P$  i za 3 niza spram plohe  $M$ ; simbol  $1\overset{2}{O}3$  označuje ugao (rogalj), koji je umanjen za dva niza spram plohe  $P$ , za 3 niza spram plohe  $M$  i za 1 niz spram plohe  $T$ .

<sup>1)</sup> Od lat. *index*, vijesnik.

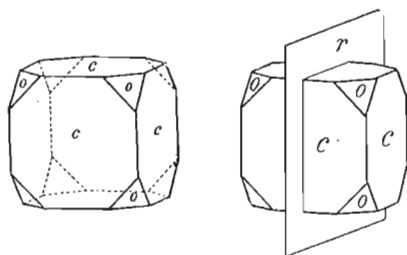
Označivanje *Haüy*-evo dosta je komplicirano i nejasno, pa je Weiss, kako smo kazali, uveo drugi način, vrlo jednostavan. U francuskoj mineralogiji zadržan je način simbolizovanja ploha na osnovi *Haüy*-evoga simbolizovanja, ali je znatno ujednostavljen. Metodu *Haüy*-evu ujednostavio je *A. Lévy* (god. 1837.) i ta je metoda danas najobičnija u francuskoj mineralogiji. *Lévy* je uzeo za oznake ista slova kao i *Haüy*: za plohe osnovnih likova upotrebljavaju se slova  $p, m, t$ ; sa  $p$  označuju se plohe baze, kocke i romboedra, a sa  $m$  i  $t$  prizmatske plohe. Samoglasnici  $a, e, i, o$  označuju uglove (rogljeve), a suglasnici  $b, c, d, f, g, h$  bridove (ivice). Ako je na pr.  $b$  oznaka za brid heksaedra, onda  $b^1$  označuje rompski dodekedar {110},  $b^3$  tetrakisheksedar {130}; ako je  $a$  oznaka za ugao (rogalj) heksaedrov, onda  $a^1$  označuje oktaedar {111},  $a^2$  deltoidski ikozitetraedar {113} i t. d.<sup>1)</sup>.

**24. Kristali su većinom simetrijski gradjeni.** Da kristali nisu slučajne geometrijske forme, razabiramo po stalnosti njihovih plošnih kutova (uglova), po zakonu zona i zakonu parametara. Sve plohe, što se na kristalu pojavljuju, posljedica su pravilne unutrašnje gradje (strukture), koja je podvržena stalnim zakonima, što vladaju medju mineralnim česticama. Kristali dakle, bili oni svojom spoljašnošću na oko ma kako nepravilni, zaista su vrlo pravilna tijela i u svojoj nutрини i u svojoj spoljašnosti. Nešto od te unutrašnje pravilnosti zapazili smo, kad smo govorili o rasteњу alau-nova kristala. Kad se iz prezasićene otopine alau-nove (11) stao razvijati sitan kristal u formi oktaedra, u nekom razdoblju njegova razvitka počete se javljati na uglovima (rogljevima), pa na bridovima (ivicama) oktaedrovim nove plohe. I kako se ploha stala razvijati na jednom uglu (roglju), eno ploha gdje se pojavljuju i na ostalim uglovima (rogljevima); kako se stala razvijati na jednom bridu, eno ploha i na ostalim bridovima. Zadesi li tokom razvitka neka promjena koju plohu, ugao (rogalj) ili brid na kristalu, ta će promjena zahvatiti jednako i sve istovrsne plohe, uglove (rogljeve) i bridove (ivice) toga kristala; na kristalu se svrstavaju plohe, uglovi (rogljevi) i bridovi medju sobom simetrijski<sup>2)</sup>. Mora dakle da medju mineral-

<sup>1)</sup> *V. Goldschmidt*: Index der Krystallformen der Mineralien, I. Band. Berlin 1886. pag. 37. — *P. Groth*: Physikalische Krystallographie. Vierte Auflage. Leipzig 1905. pag. 540.

<sup>2)</sup> Od grč. *symmetria*, ravna mjera.

nim česticama djeluju neke sile, koje upravljaju tim simetrijskim poredjajem. Na idealnu kristalu (9), na pr. na heksaedru (sl. 69.), lakó ćemo zapaziti, kako su plohe medju sobom tako položene, da tvore potpuno simetrijsku formu. Takav kristal možemo ra



Sl. 69.

Sl. 70.

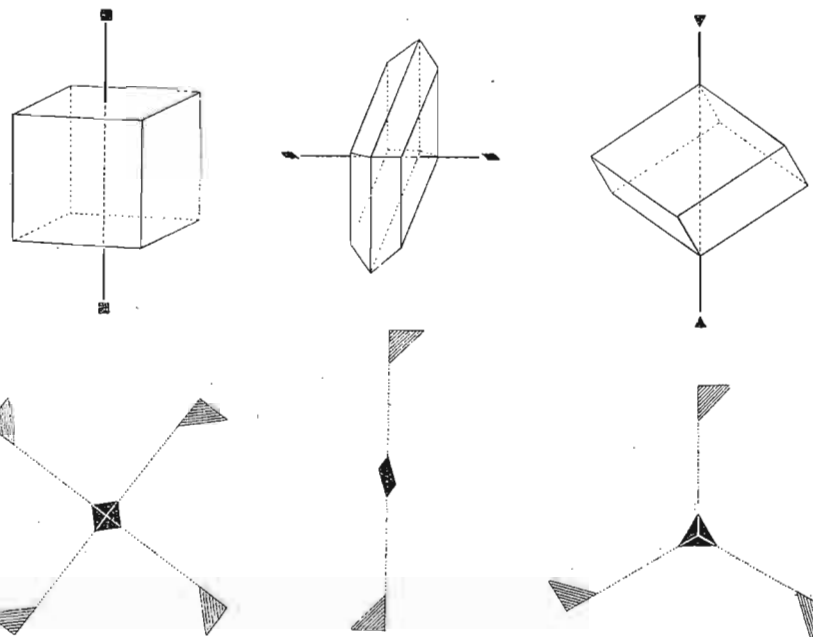
spoloviti nekom ravninom u dvije pole, koje će biti potpuno jednake (sl. 70.). Svaka od te dvije pole imat će jednaki broj ploha, uglova (rogljeva) i bridova (ivica); plohe, uglovi, bridovi jedne pole bit će potpuno jednaki plohama, uglovima, bridovima druge pole. Obje te pole bit će jednake jedna drugoj kao desna ruka lijevoj, kao slika u zrcalu predmetu pred zrcalom; velimo: obje su pole, koje dijeli zrcalna ravnina, zrcalno jednake, zrcalno se pokrivaju. Zrcalnu ravninu, koja dijeli kristal u dvije zrcalno jednake polovine, zovemo *ravninom simetrije*, a za kristale, koje je moguće na taj način simetrijski raspoloviti, velimo, da imaju ravninu simetrije. Znak je za ravninu simetrije slovo P. Ravnina simetrije uvijek se podudara sa kojom od nazočnih ili mogućih kristalnih ploha.

Kako je simetrija kristala nešto, što leži u biti mineralne tvari, kako je ona odražaj unutrašnje pravilne gradje kristala, to će ravninu simetrije imati ne samo idealni, nego i razvučeni kristali (9). Svaki razvučeni kristal sakriva u sebi svoju idealnu formu, jer je njegova izobličenost tek prividna; plohe razvučena kristala istoga su položaja kao i plohe idealna kristala.

Koliko će ravnina simetrije imati neki kristal, stoji to do položaja ploha na kristalu. A taj je položaj, kako znamo, određen parametrima. Pa kako zakon parametara upravlja razvitkom kristalnih ploha te dopušta, da se na kristalu razviju samo one plohe, kojih su osni (parametarski) odnosi u racionalnom odnosu spram osnovoga odnosa osnovne forme, tako će taj zakon upravljati i ravninom simetrije. I jer su ravnine simetrije zavisne o položaju ploha, to se po zakonu parametara mogu na kristalu pojaviti samo takve ravnine simetrije, koje se sijeku pod kutom (uglom) od 120°, 90°, 60°, 45° i 30°; iz toga takodjer slijedi, da je broj simetrija na nekom kristalu ograničen, te se kristali mogu razviti sa 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 ili 9 ravnina simetrije, koje označujemo sa P, 2P, 3P, 4P, 5P, 6P, 7P i 9P. Kristalâ sa drugim kojim brojem simetrija nema.

Simetriju kristala možemo i na taj način zapaziti, ako neki kristal, na pr. heksaedar, postavimo u izvjestan položaj, pa ga onda okrećemo oko jedne osi tako, da se nakon nekoga okretaja (na pr. kod heksaedra nakon okretaja od 90°) pojave istovetne plohe, uglovi (rogljevi) i bridovi

(ivice), kakve smo vidjeli na kristalu u položaju prije okretanja, u položaju iskonskom; u novom je dakle položaju forma kristala posve istovetna iskonskoj formi (sl. 71. a, b). Pravac, oko koga treba okrenuti kristal za izvjestan broj stupanja, da se pokaže u formi, koja je potpuno istovetna iskonskoj, zove se *os simetrije* ili *gira*<sup>1)</sup>, a znak joj je L.



Sl. 71. a, b

Sl. 72. a, b

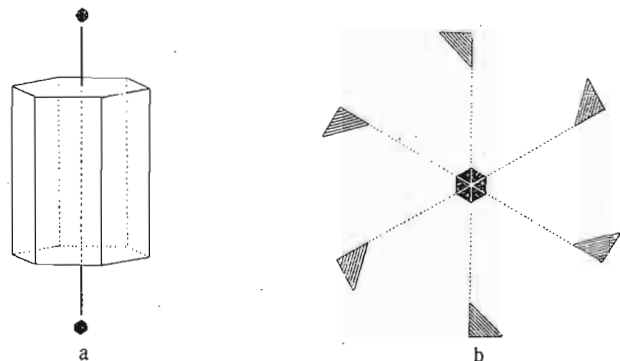
Sl. 73. a, b

I ta je vrsta simetrije podvržena zakonu parametara, jer je zavisna, kao ravnina simetrije, o položaju ploha. Pa kako je taj zakon ograničio broj ravnina simetrije, tako je ograničio i broj osi simetrije. Izuzevši okretaj od 360°, nakon kojega dospjeva kristal u svoj iskonski položaj, možemo kristale okrenuti oko osi simetrije, da se pokažu u formi, koja je istovetna iskonskoj, za 180°, 120° 90° i 60°. Zakon parametara ne dopušta okretaja sa drugim brojem stupanja, te je on ograničio broj osi simetrije tako da ih na nekom kristalu ima 1, 3, 4, 5, 7 ili 13, koje označujemo sa L, 3L, 4L, 5L, 7L i 13L. Drugi broj osi simetrije ne mogu kristali imati. Os, oko koje treba okrenuti kristal za 180°, da se pojavi istovetna forma, zove se *digonska*<sup>2)</sup> os simetrije ili *digira*, znak joj je L<sup>2</sup> (sl. 72 a, b). Kristali sa

<sup>1)</sup> Od grč. *gyrós*, zavinut.

<sup>2)</sup> Od grč. *dís*, dvostruk i *gonía*, kut.

digonskom osi mogu se dva puta okrenuti dok dodju u svoj iskonski položaj, t. j. u dva okretaja obave okretanje od  $360^\circ$ , dakle  $180^\circ = \frac{360^\circ}{2}$ . Trigonsku<sup>1)</sup> os simetrije ili trigiru  $L^3$  imaju kristali, koje treba okrenuti za



Sl. 74.

$120^\circ$  (sl. 73. a, b); u tri okretaja vraćaju se oni u svoj iskonski položaj, t. j.  $120^\circ = \frac{360^\circ}{3}$ . U četiri okretaja, svaki od  $90^\circ$ , vraćaju se u iskonski položaj kristali sa tetragonskom<sup>2)</sup> osi simetrije ili sa tetragirom  $L^4$  (sl. 71. a, b) t. j.  $90^\circ = \frac{360^\circ}{4}$ . U šest okretaja, svaki od  $60^\circ$ , vraćaju se u iskonski položaj kristali sa heksagonskom<sup>3)</sup> osi simetrije ili sa heksagirom  $L^6$  (sl. 74. a, b) t. j.  $60^\circ = \frac{360^\circ}{6}$ .

Osim ravnine simetrije i osi simetrije ima među kristalima još jedna vrsta simetrije, koju možemo naći tamo, gdje su se razvile plohe u takvom položaju, da svaka od njih ima na suprotnoj strani istovrsnu sebi paralelnu plohu (sl. 75.). Kod kristala sa takvim plohamo možemo zamisliti u njegovoj nutрини jednu tačku, koja bi raspolavljala sve pravce, što prolaze tom tačkom, a omedjuju ih elementi kristala. Tu tačku zovemo *centrom simetrije*; znak je za centar simetrije C. Centar simetrije uvijek je i geometrijski centar kristala, ali geometrijski centar kristala nije uvijek i centar simetrije. Tako na pr. tetraedar (sl. 76.) ima geometrijski centar, ali nema centra simetrije; na njemu se nisu naime razvile paralelne plohe. Kristali, kod kojih se razvio i centar simetrije, imaju uvijek plohe, koje se javljaju kao

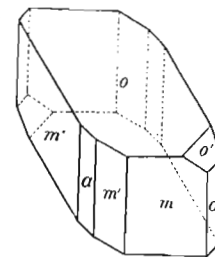
<sup>1)</sup> Od grč. *tris*, trostruk.

<sup>2)</sup> Od grč. *tetra*, četiri.

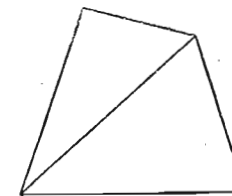
<sup>3)</sup> Od grč. *heks*, šest.

parovi paralelnih istovrsnih ploha. Na kristalu (sl. 75.) razvio se centar simetrije, jer svaka ploha ima na protivnoj strani istovrsnu paralelnu plohu. Sve ove vrste simetrija zovemo skupnim imenom *elementi simetrije*. Ravnina simetrije i os simetrije *jednostavni su elementi simetrije*.

Dok smo sa ravninom simetrije razdijelili kristal u dijelove, koji se zrcalno pokrivaju i dok smo pomoću osi simetrije doveli kristal u položaj,



Sl. 75.



Sl. 76.

da je istovetan iskonskom položaju, ima kristala, kod kojih se može to pokrivanje, dakle simetrijska osobina, postići i na taj način, da kombiniramo ravninu simetrije + os simetrije kao jednu zajedničku operaciju. Na taj način dolazimo do t. zv. *složene simetrije*. Kod složene simetrije valja kristal rastaviti zrcalnom ravninom u dvije pole i u isto doba okretati oko osi, koja je okomita na zrcalnu ravninu. Okretanje oko osi za izvjestan broj stupanja ne dovodi samo za sebe do pokrivanja, a isto tako ni dijejenje kristala zrcalnom ravninom u dvije pole samo za sebe ne dovodi do toga pokrivanja, nego tek u kombinaciji jedno sa drugim. Os složene simetrije zove se *giroida*, a ravnina okomita na giroidu *zrcalna ravnina okretaja*. Složenu simetriju možemo motriti na pr. kod romboedra; romboedar se odlikuje trigonskom osi simetrije; ali ako romboedar okrenemo oko osi *c* za  $60^\circ$ , a u isto ga doba rastavimo zrcalnom ravninom, koja je okomita na os okretanja, dovest ćemo ga tako šest puta do pokrivanja, t. j. romboedar ima heksagonsku os složene simetrije ili heksagiroidu. Tetragonski bisfenoid na pr. ima za os složene simetrije tetragiroidu. Kod kristala, koji se odlikuju trigiroidom, jednaka je trigiroida trigiri, a kod kristala, koji se odlikuju digiroidom, jednaka je digiroida centru simetrije. Prema tome nalazimo kod kristala ove elemente simetrije: od jednostavnih elemenata simetrije digire, trigire, heksagire i ravnine simetrije, a od složene simetrije heksagiroida, tetragiroida i centar simetrije<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> P. Niggli: Lehrbuch der Mineralogie, pag. 30. Zweite Auflage, Berlin 1924. — Д. Н. Аршмелъев: Кристаллография. Том I. Кристалл и его симметрия. Берлин 1923. pag. 32.

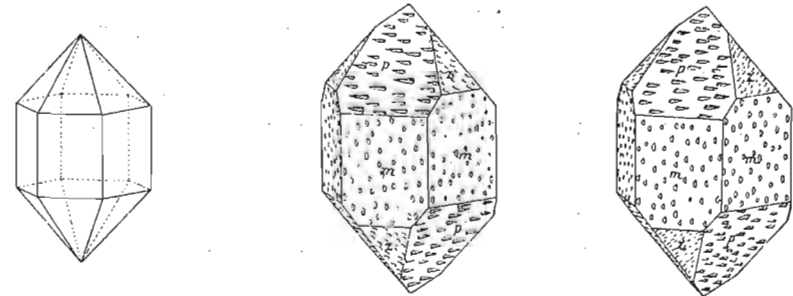
Proučavajući simetrijska svojstva kristala našao je Haüy god. 1815. i zakon simetrija. Taj zakon glasi: *kad se na nekom kristalu stanu mijenjati istovrsne plohe, bridovi (ivice) i uglovi (rogljevi), mijenjaju se jednako, kako smo to već zapazili kod alaunova kristala, gdje su se tokom rasteanja razvile nove plohe na uglovima (rogljevima) i bridovima (11). Te se promjene tiču dakle pojavljivanja novih ploha na mjestu dotadašnjih uglova (rogljeva) i bridova.*

Kristali, u kojima se razvijaju različite mineralne tvari, mogu biti različitoga stupnja simetrije. Ima minerala, na pr. fluorit  $\text{CaF}_2$  koji su se razvili u kristalima sa najvećim stupnjem simetrije; kod fluorita imamo 9 ravnina simetrije, 13 osi simetrije i centar simetrije. Neki kristali imaju ravnine simetrije, ali nemaju centra simetrije; takvi su na pr. kristali sferlita  $\text{ZnS}$ , koji imaju 6 ravnina simetrije i 7 osi simetrije. Ima i takvih kristala, koji imaju samo osi simetrije; u takvim se kristalima razvija kuprit,  $\text{Cu}_2\text{O}$ , koji ima samo 13 osi simetrije. Kod nekih se minerala razvio još niži stupanj simetrije, pa nemaju ni ravnine simetrije, ni osi simetrije nego samo centar simetrije; tako su građeni kristali plagioklasa  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$  —  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ . A mogući su i potpuno asimetrijski kristali, koji nemaju ni ravnine simetrije, ni osi simetrije, ni centra simetrije. Takvih doduše kristala nije još nadjeno među mineralima, ali su po zakonu parametara mogući i zaista među nekim kemijskim spojevima, što ih je čovjek u laboratoriju vještački napravio, ima i takovih, koji se kristalizuju u potpuno asimetrijskim kristalima, na pr. stroncijski bitartarat  $(\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6)_2\text{SrH}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ .

Po zakonu simetrija mogu se u kristalnim kombinacijama javljati samo takove forme, koje imaju isti stupanj simetrije. Ne može se na pr. nikada razviti jedna kombinacija, koja bi bila sastavljena od kristalne forme sa 9 ravnina simetrije i druge forme, koja bi imala 3 ravnine simetrije; obje forme u spomenutoj kombinaciji moraju biti istoga stupnja simetrije, t. j. moraju imati ili 9 ravnina simetrije ili 3 ravnine simetrije.

**25. Kristali se odlikuju i fizičkom i kristalografskom simetrijom, a ne samo geometrijskom.** Imali smo prilike već nekoliko puta istaknuti, kako se kristali odvajaju od običnih geometrijskih likova, pokoravajući se zakonu zona i zakonu parametara. Pa i zakon simetrija odvajala kristale od običnih geometrijskih likova, jer simetrija kristala nije, kao simetrija geometrijskih likova, nešto spoljašnje. Ona leži u biti neke mineralne tvari, sadržana je u unutrašnjoj građi minerala, i često je puta nevidljivi izražaj nevidljivih sila, što djeluju među mineralnim česticama, koje sastavljaju kristal. Zato ju je više puta teško zapaziti na mnogim kristalima, koji se pričinjaju kao obični geometrijski likovi, a oni to u stvari i nisu. Eto da bacimo pogled samo na koji kristal kremenov (kvarcov). Kremen se razvio u pravilnoj prizmi (sl. 77.) sa 6 ploha (heksagonska prizma), a ozgo i ozdo toj prizmi izrasla piramida, svaka sa 6 ploha (heksagonska piramida). Po-

kušajmo na tom kristalu naći njegove elemente simetrije i njihov stupanj! Bilo bi tu 7 ravnina simetrije 7P, od kojih bi 6 bile vertikalne i sjekle bi se pod kutom (uglom) od  $30^\circ$ , a jedna bi bila horizontalna, dakle okomita na onih 6 ravnina simetrije. Bilo bi tu i 7 osi simetrije (ili 7 gira) 7L: jedna vertikalna heksagonska  $L^6$ , a šest horizontalnih digonskih  $6L^2$ ; mogli bismo naći još i centar simetrije C. Jest to bi bilo tako, kad bi kremenov kristal bio obična geometrijska forma; ali on to nije, pa i nema zato nabrajenih vrsta simetrije. Geometrijskim istraživanjem dakako ne možemo



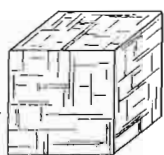
Sl. 77.

Sl. 78.

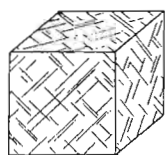
tu istinu dokazati. Ali će zato neka fizička istraživanja brzo otkriti tajnu gradnju kremenova kristala i mi ćemo vidjeti, da na kremenovu kristalu nema ni jedne ravnine simetrije, a ni centra simetrije; tek su se razvile 4 osi simetrije: jedna vertikalna trigonska  $L^3$  i tri horizontalne digonske  $3L^2$ . Kad bismo uzeli koju kapljicu fluorovodične kiseline HF, koja lako otapa kremen, pa njom nakvasili plohe kremenova kristala, nakon nekoga vremena pojavile bi se na tim plohamo sitne udubine osobita oblika (sl. 78.). To je fluorovodična kiselina nagrizla malo plohe kremenove, neznatno ih otopila. Ali kao što je rasteanje kristala vektorijalno svojstvo te ne teče u svim smjerovima jednakom brzinom (7), ne će ni otapanje njegovo biti u svim smjerovima iste brzine, jer je i ono vektorijalno svojstvo; smjerovi otapanja zavisit će o onim silama, što vladaju među mineralnim česticama te ih drže u ravnoteži, pa će udubine, što su nastale na kristalnim plohamo djelovanjem fluorovodične kiseline, imati izvjesnu poliedarsku formu, koja će pokazivati onaj stupanj simetrije, što ga ima i sam kristal. Te udubine, koje zovemo *izjedinama* (66), otkrivaju stupanj simetrije nekoga kristala i one su obično tako sićušne, da ih tek mikroskopskim posmatranjem tačno zapažamo. Ako pogledamo izjedine na plohamo kremenova kristala, što su nastale djelovanjem fluorovodične kiseline, ne ćemo na njima naći simetrija, koje smo zapazili na samu kristalu: izjedine su bez ikakove simetrije.

Pomoću izjedina saznali smo, da kremen nije gradjen u onoj simetriji, koju pokazuju njegove forme. Tu vidimo, da geometrijska simetrija

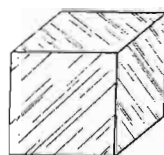
nije isto što i kristalografska simetrija. Razliku između geometrijske i kristalografske simetrije pokazat će na pr. i kristali fluorita  $\text{CaF}_2$ , sfalerita  $\text{ZnS}$  i pirita  $\text{FeS}_2$ . Sva tri se ta minerala kristalizuju u pravilnim heksaedrima, dakle u liku, koji ima najviši stupanj simetrije. Na heksaedru kao običnom geometrijskom liku nalazimo 9 ravnina simetrije 9P, 13 osi simetrije 13L i centar simetrije C. Te vrste simetrije i taj broj simetrija morao bi imati i heksaedar fluorita, sfalerita i pirita, kad bi bili obični geometrijski likovi. Ali oni to nisu. Fluoritov heksaedar potpuno je jednak geometrijskom heksaedru sa najvišim stupnjem simetrije, sfalerit ima tek 6 ravnina simetrije 6P, dok centra simetrije C nema, a pirit samo 3 ravnine simetrije 3P, 7 osi simetrije 7L i centar simetrije C. Dok su sva tri kristala geometrijski potpuno jednaka, fizički i kristalografski oni su posvema različiti. Ta se razlika vidi kadikad na plohama kristala. Plohe fluorita znadu tako izrasti, da su isprutane, a prutanja teku paralelno bridovima (ivicama) (sl. 79.) ili u dva dijagonalna smjera (sl. 80.) tako, da odgovaraju najvišem stupnju heksaedrove simetrije i zahvatila su jednako sve plohe na heksaedru; sve su dakle plohe na heksaedru iste vrste. I sfalerit je na plohama heksaedra isprutan, ali ta prutanja teku u smjeru jedne dijagonale (sl. 81.), a dijagonalni smjer nije na svim plohama isti; istovrsne su plohe jednako prutane, raznovrsne razno. To dakle nije običan geometrijski heksaedar, jer kod njega je svih 6 ploha iste vrste te imaju da pretrpe po zakonu simetrije i iste promjene; dijagonalna prutanja morala bi poradi simetrije heksaedra teći u dva dijagonalna smjera kao kod fluorita.



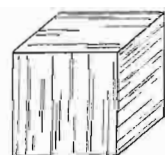
Sl. 79.



Sl. 80.



Sl. 81.



Sl. 2.

Prutanja su se razvila i na piritovu heksaedru, ali teku paralelno jednome bridu i opet tako (sl. 82.), da su istovrsne plohe jednako prutane, raznovrsne različito; simetrija heksaedrova zahtijevala bi, da ta prutanja teku paralelno sa dva brida heksaedrova.

Kod ta tri kristala odaju prutanja, što su nastala tokom razvitka heksaedrova, stupanj simetrije, koji je kod fluorita najviši, 9P 13L i C kod sfalerita nešto niži, 6P i 7L, a kod pirita najniži, 3P, 7L i C. Simetrija je dakle nešto, što je u nutrini gradnje kristalove i ne da se uvijek otkriti geometrijskim putem, nego fizičkim (na pr. izjedinama).

**26. Kristalni modeli i slike služe kao pomagala kod proučavanja geometrijskih svojstava kristala.** Kristali su poliedarska tijela u nutri

svojoj pravilno gradjena. Pravilnost se ta očituje na spoljašnjosti kristala, u stalnosti plošnih kutova (uglova) (17), pomoću kojih dolazimo do zakona parametara (22), zatim u zakonu zona (20) i zakonu simetrije (24). Ali vanjska pravilnost zna biti u toliko poremećena, što se plohe pri rasteњу kristala nejednoliko razvijaju (9) pa ta nejednolikost pomućuje u prvom redu simetrijsko lice kristala, pomućuje zonalni sklad tako, da će neupućen čovjek na razvučenu kristalu teško moći uočiti ikakvu vanjsku pravilnost. A ipak je taj razvučeni kristal savršeno jednak idealnu kristalu (9), na kome se lako nadju zone i simetrije, jer se je razvučeni kristal, kao i idealan, pokoravao pri svome rasteњу zakonu zona, parametara i simetrije. Od razvučena kristala lako ćemo se dovinuti idealnu kristalu. Kad bismo naime u duhu stali pomicati nejednake plohe paralelno njihovu položaju tako dugo, dok sve istovrsne plohe ne budu jednake veličine, u tom času mi bismo došli od razvučena kristala do idealna kristala. Takvo je idealizovanje dopušteno, jer se paralelnim pomicanjem ploha njihov međusoban položaj nikako ne mijenja, pa je na tom idealizovanju osnovano priredjivanje *kristalnih modela*, koji služe kao pomagala kod geometrijskoga proučavanja kristala.

Kristalne modele priredjujemo ili od kartona ili od stakla ili od drveta. Najzgodniji su drveni kristalni modeli, jer su trajni. Za početnika su kristalni modeli od osobite važnosti, jer će na njima moći lako zapaziti svu onu pravilnost, o kojoj smo do sada govorili; naročito će lako na tim kristalnim modelima naći zone, simetrije, a moći će izvesti iz tih modela i kristalne osi. Ne bi trebalo ni isticati, da kristalne modele ne možemo smatrati kristalima, ne zbog toga, što su oni djelo ruku čovjekovih, nego zbog toga, što nemaju nikakove pravilne unutarnje gradje; kristalni modeli tek su obični geometrijski likovi, do kojih smo došli oponašajući forme kristala.

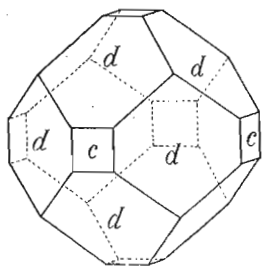
Kadikada mogu pomoći u geometrijskom poznavanju kristala i *kristalne slike*. I to su idealizovane forme kristala, na kojima se mogu lako zapaziti plohe, kako leže u zonama, i je li kristal simetrijski gradjen, i njegova simetrija.

Kristalne slike crtamo metodom paralelne perspektive tako, da su te slike paralelno perspektivne projekcije. Crtanje se vrši tako, da pomislimo kristal, kako stoji pred nekom ravninom; sa svake krajnje tačke kristala (sa bridova) pomislimo, da se pružaju pravci okomito na onu ravninu. Ako spojimo sve krajnje tačke tih pravaca, koje se nalaze na projekcionoj ravnini, a odgovaraju bridovima, dobit ćemo paralelno perspektivnu projekciju kristala ili kristalnu sliku, koja prikazuje kristal posmatran iz neizmjerne udaljenosti. Kristalne slike, što se upotrebljavaju u mineralogiji crtane su uvijek metodom paralelno perspektivne projekcije<sup>1)</sup>.

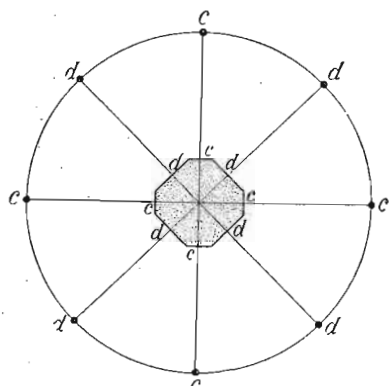
<sup>1)</sup> G. Tschermak: Lehrbuch der Mineralogie. Achte Auflage. 1921. pag. 25.

## 27. Kristalne plohe možemo projicirati kao tačke ili kao pravce.

Koliko god kristalne slike pomažu da na kristalu lako zapazimo zone i simetrije, ipak iz tih slika ne možemo zapaziti onu pravilnost, koja slijedi iz zakona parametara i zakona zona. Pa da i tu pravilnost zapazimo, služimo se nekim pomagalicama; mi naime projiciramo plohe kristala kao tačke. Kako ćemo projicirati plohe nekoga kristala na pr. kao tačke? Zamislimo, da se kristal (sl. 83.) nalazi u nekoj kugli (sl. 84.). Iz središta kristala puštamo okomice na plohe kristala, pa ih dalje produžujemo, dok ne izbiju na površinu kugle u nekoj tački. Na taj način projicirali smo

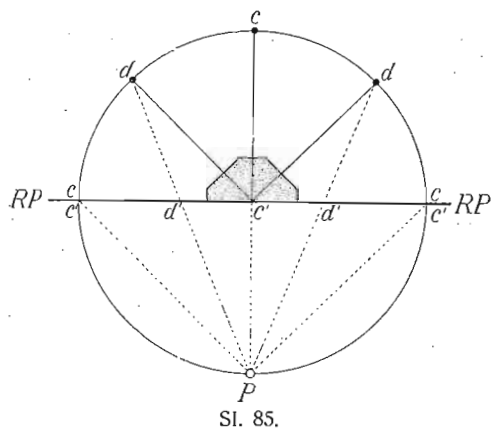


Sl. 83.



Sl. 84.

na površinu kugle kristalne plohe tako, da svakoj plohi odgovara jedna tačka; svaka na kugli tako prikazana tačka, koju zovemo *polom plohe*, potpuno određuje položaj neke kristalne plohe. Spojimo li polove ploha crtom, to ta crta označuje zonu, u kojoj leže projicirane plohe ili polovi ploha. Takvu projekciju zovemo *sfernom<sup>1)</sup> projekcijom*.

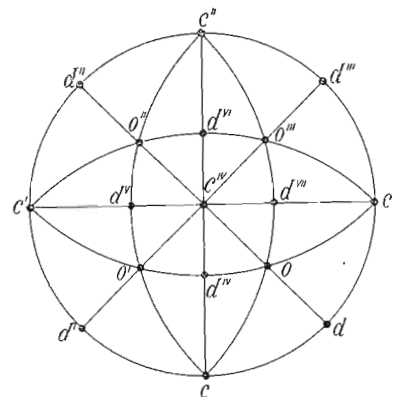


Sl. 85.

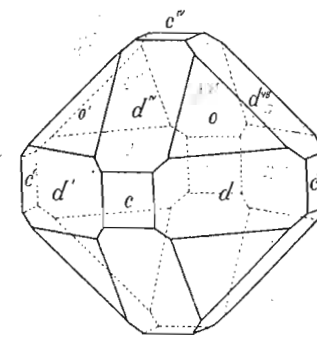
Da sfernu projekciju prenesemo u ravninu, moramo zamisliti tu ravninu, da prolazi horizontalno sredinom kugle (ekvatorijalna ravnina). Polove ploha na kugli spojimo sa južnim polom

<sup>1)</sup> Od grč. *sphaira*, kugla.

kod P (sl. 85.). Spojni pravci probit će ekvatorijalnu ili projekcionu ravninu RP u jednoj tački, koja je projekciona tačka pola plohe ili kristalne plohe. Projekcije svih polova ploha na gornjoj poli kugle leže unutar kruga ekvatorijalne plohe. Taj krug zovemo *glavnim krugom* (sl. 86.a); na njemu se nalaze projicirane kao tačke one plohe, koje su na kristalu vertikalne, a to su plohe prizme ili one plohe, koje su paralelne sa glavnom osi *c* (sl. 85.). Taj krug predstavlja ujedno i zonu, u kojoj leže te vertikalne plohe, što smo ih projicirali kao tačke; on obuhvata sve plohe jedne zone, dakle sve tautozonalne plohe (20).. U središte glavnoga kruga ili projekcione ravnine dopijeva uvijek kao tačka projekcija one plohe, koja je na kristalu horizontalna, a to je ploha baze ili pinakoid; ona je paralelna sa osima *a* i *b* u sl. 86.a, 86.b ploha *c<sup>iv</sup>*. U tu tačku pada takodjer i vertikalna os kristala, os *c*. Sredinom glavnoga kruga ili projekcione ravnine pruža se vertikalni pravac, koji prikazuje os *a*, ali i jednu zonu, u kojoj leže sve plohe (tauzozonalne), koje su paralelne sa osi *b*; na taj pravac (u tu zonu) dolaze plohe *c d<sup>iv</sup> d<sup>vi</sup> c<sup>ii</sup>*; prema tome je ploha *c* i *c<sup>ii</sup>* paralelna sa osi *c* i sa osi *b*. Horizontalno kroz središte glavnoga kruga prolazi os *b*; ujedno je ona i zona, u kojoj leže sve plohe (tauzozonalne), što teku paralelno sa osi *a*; na taj pravac (u tu zonu) dolaze plohe *c' d<sup>iv</sup> c<sup>iv</sup> d<sup>vii</sup> c<sup>iii</sup>*; prema tome su plohe *c'* i *c<sup>iii</sup>* paralelne sa



Sl. 86. a



Sl. 86. b

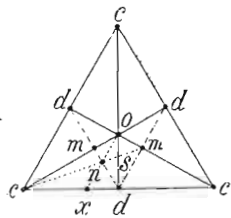
osi *b* i sa osi *a*. I sve druge zone, koje prolaze središtem glavnog kruga, prikazane su takodjer kao pravci, na kojima leže polovi onih ploha, koje sijeku sve tri kristalne osi u nekoj izmjerljivoj udaljenosti, a to su plohe piramida; gdje se te zone sijeku sa glavnim krugom, nalaze se plohe, koje su dakako paralelne sa glavnom osi *c*; na našoj slici dolaze u te zone plohe *o o' o'' o'''* (one sijeku sve tri osi u nekoj izmjerljivoj udaljenosti) i plohe *d<sup>iv</sup> d<sup>v</sup> d<sup>vi</sup> d<sup>vii</sup>*; plohe *d<sup>iv</sup> d<sup>vi</sup>* leže u vertikalnoj zoni *c c<sup>ii</sup>*, dakle su pa-

ralelne sa osi  $b$ ;  $d^v d^{vu}$  leže u horizontalnoj zoni  $c' c'''$ , dakle su paralelne sa osi  $a$ . Ova vrsta projekcije zove se *stereografska*<sup>1)</sup> projekcija i ona je od velike važnosti za proučavanje plošnih kutova (uglova) i za izvadjanje novih ploha pomoću zona (neke od zona u toj projekciji odgovaraju i ravninama simetrije). Na toj projekciji komadi zona, što leže između dva pola, označuju normalne kutove (uglove), što ih čine normale spuštene iz nutrine kristala na njegove plohe (18). Pomoću sferne trigonometrije možemo lako iz stereografske projekcije nekoga kristala izračunati njegove normalne ili plošne kutove (uglove), a dakako iz njih onda i same parametre.

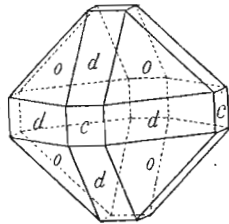
Na stereografskoj projekciji mogu doći samo plohe jedne polovine kristala, jer smo kuglu, na kojoj su bile projicirane plohe kao polovi (sferna projekcija), prepolovili projekcionom ravninom u dvije pole.

Stereografsku projekciju izumio je *Hiparh* (g. 180.—125. prije Krista), a glavna joj je svojstva proučio *Ptolomej* (87.—165.).

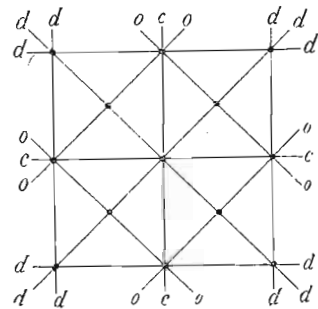
Stereografskoj projekciji vrlo je slična *gnomonska projekcija*. Normale ploha kod ove projekcije ne puštamo na kuglu, nego na ravninu. Za projekcionu ravninu možemo uzeti koju god ravninu, ali se najviše uzima onakva ravnina, koja je paralelna nekoj kristalnoj plohi, na pr. plohi (001) ili (111). Plohe su u gnomonskoj projekciji prikazane kao tačke, a zone kao pravci (sl. 87.).



Sl. 87.



Sl. 88.a



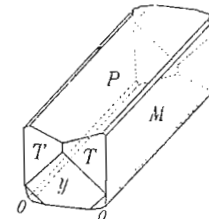
Sl. 88.b

Kristali se mogu projicirati i metodom *linearne projekcije*, gdje su plohe prikazane kao pravci, a zone kao tačke. Projekciju obavljamo tako, da zamišljamo kristal pred projekcionom ravninom, koja je obično okomita na os  $c$ . Iz toga položaja zamislimo, da su sve plohe kristala pomaknute paralelno svome položaju do neke tačke izvan projekcione ravnine; udaljenost tačke od ravnine mora biti poznata. Na taj način dobili smo snop

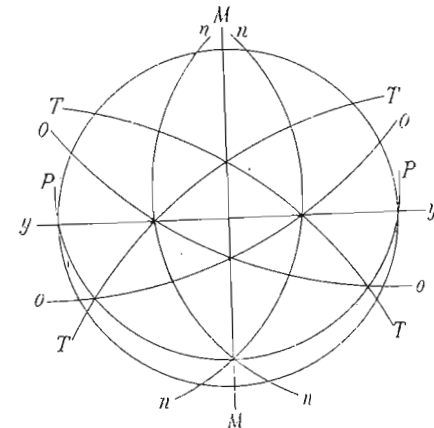
<sup>1)</sup> Od grč. *stéreos*, tvrd *grápho*, pišem, t. j. prikazivanje tvrdoga tijela na ravnini.

ploha, koje možemo zamisliti, da su presječene projekcionom ravninom. Na ravnini će se pokazati pravci kao tragovi ploha; ti su pravci projekcije ploha. Na taj način dolaze parovi paralelnih ploha zajedno, te su u projekciji prikazani jednim jedinim pravcem. Kristalna os, koja je okomita na projekcionoj ravnini, pada u središte same ravnine i prikazana je u projekciji kao tačka, druge dvije osi leže kao pravci u ravnini. U slici 88.b vidimo linearnu projekciju kristala u sl. 88.a.

Ruski mineralog *E. S. Fedorov* kombinirao je linearnu i sfernu projekciju, pa je doveo t. zv. *gramastereografsku projekciju*, u kojoj se sve kristalne plohe, kao kod linearne projekcije, sijeku u jednoj tački i ovako sabrane u jednoj tački budu presječene kuglom, u kojoj se nalazi kristal



Sl. 89.a



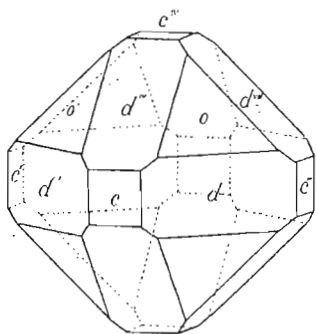
Sl. 89.b

tih ploha. Ovakova kugla sa tragovima plohe projicira se stereografski na ravninu, gdje su plohe prikazane kao najveći krugovi, a zone kao tačke (sl. 89. a, b).<sup>1)</sup>

**28. Pomoću zona možemo iz poznatih ploha izvesti i druge plohe, što se pojavljuju na kristalu ili su na njemu moguće.** Ako su na nekom kristalu poznate četiri plohe, od kojih tri ne leže u jednoj zoni (sl. 90.), možemo pomoću zakona zona iz te četiri plohe naći položaj ostalih ploha, koje su se na kristalu razvile ili su na njemu moguće. A po zakonu zona moguće su na nekom kristalu sve one plohe, kojih polovi leže na presjecištima zona. Da to razaberemo, poslužiti ćemo se stereografskom projekcijom. Uzmimo kristal, kakav prikazuje slika 90. Na tom kristalu imamo četiri plohe  $o o' o'' o'''$ , od kojih zaista tri ne leže u jednoj

<sup>1)</sup> Д. Н. Аршмьев: Кристаллография. Том. 2. Берлин 1923.

zoni. Ako ga projiciramo metodom stereografske projekcije, dobit ćemo četiri pola  $o\ o'\ o''\ o'''$  (sl. 91.). Spojimo li polove crtama, dobit ćemo zone, u kojima leže ti polovi i vidjet ćemo, da je takvih zona šest:  $oo' - o'o'' - o''o''' - o'''o - oo'' - o'o'''$ . Plohe  $oo'o''o'''$  leže na presjecištima zona; ali mi imamo presjecišta zona i u tački  $cc'c''c'''c^{iv}$  i tu leže polovi ploha  $cc'c''c'''c^{iv}$ , jer to zahtijeva zakon zona. Na taj način moći ćemo



Sl. 90.

odrediti položaj i onih kristalnih ploha, koje se na kristalu nisu razvile, ali su na njemu moguće. Ovih pet ploha  $cc'c''c'''c^{iv}$  stoje u vezi sa plohama  $oo'o''o'''$  tvoreći zonu  $cc'c''c'''c - cc^{iv}c'' - c'c^{iv}c'''$ ; te tri zone sa onih šest prijašnjih zona čine *sustav od devet zona*, koji služi kao ishodište za izvadjanje svih ostalih ploha na kristalu, koje su se na njemu razvile ili su na njemu moguće.

### 29. Pomoću zonalnih pravila možemo upoznati indekse ploha.

Kristalne plohe označujemo indeksima (23), do kojih dolazimo mjerenjem plošnih kutova pomoću goniometra (18). Kad znamo indekse plohe, znamo i njezin položaj na kristalu. Do tih indeksa možemo doći i pomoću zonalnih pravila vrlo jednostavnim računom. Poznamo li indekse dviju ploha, na pr. plohe (111) i (123), koje leže u jednoj zoni, naći ćemo indeks te zone, ako indekse ploha (111) i (123) međusobno pomnožimo, a umnožak jedan o drugoga odbijemo. U tu svrhu napišemo indekse jedne i druge plohe ovako:

$$\begin{array}{r|l} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \hline & \times & \times & \times & \times \\ \hline 1 & 2 & 3 & 1 & 2 & 3 \end{array}$$

Jedan indeks dolazi pod drugi, ali svaki po dva puta napisan; prvu i zadnju znamenku kod indeksa uklonimo i obavimo množenje i odbijanje ovako:

$$1 \times 3 - 1 \times 2 = 1; \quad 1 \times 1 - 1 \times 3 = -2; \quad 1 \times 2 - 1 \times 1 = 1.$$

Zona dakle, u kojoj leži ploha (111) i (123), ima svoj znak  $[1\bar{2}1]$ . I svaka zona na kristalu ima svoj znak, zonalni znak, koji možemo naći iz indeksa dviju ploha, što leže u toj zoni. Zonalni se znak uvijek stavlja u uglatu zagradu  $[\ ]$ , dakle  $[1\bar{2}1]$ . Kad znamo znak zone, znamo i njezin položaj na kristalu; kako zone odgovaraju bridovima (ivicama) na kristalu, to saznanjem položaja zone saznajemo i položaj bridova.

Da nadjemo indekse ploha, služimo se ovim *zonalnim pravilima*:

1. Ako želimo znati, da li neka ploha zaista leži u nekoj zoni, moraju indeksi te plohe umnoženi i zbrojeni sa indeksima zone dati 0 (nul). Na pr. neka ploha  $(hkl)$  leži samo onda u nekoj zoni  $[uvw]$ , ako indeksi te plohe umnoženi i zbrojeni sa indeksima zone daju 0 (nul), t. j.:

$$h \times u + k \times v + l \times w = 0$$

Na taj ćemo način lako saznati, da li na pr. ploha (121) leži u zoni  $[21\bar{4}]$ :

$$1 \times 2 + 2 \times 1 + 1 \times -4 = 0.$$

Ploha (121) zaista leži u zoni  $[21\bar{4}]$ , jer udovoljava zonalnom pravilu.

2. Ako neka ploha leži na presjecištu dviju zona, naći ćemo indekse za tu plohu iz indeksa onih zona, u kojih presjecištu leži i to na poznati način množenjem i odbijanjem zonalnih indeksa. Tako na pr. neka ploha leži u zoni  $[1\bar{2}1]$  i u zoni  $[\bar{1}12]$ , pa ima znak (531), jer je:

$$\begin{array}{r|l} 1 & \bar{2} & 1 & \bar{2} & 1 \\ \hline & \times & \times & \times & \times \\ \hline \bar{1} & 1 & 2 & \bar{1} & 1 & 2 \end{array}$$

$$-2 \times 2 - 1 \times 1 = -5; \quad 1 \times \bar{1} - 1 \times 2 = -3; \quad 1 \times 1 - \bar{1} \times \bar{2} = -1.$$

Ploha, koja leži u zoni  $[1\bar{2}1]$  i u zoni  $[\bar{1}12]$  ima znak (531).

3. Ploha, koja jednolično otupljuje bridove (ivice) dviju istovrsnih ploha (na pr. rompski dodekaedar, koji otupljuje bridove heksaedra), ima znak, koji se dobije zbrajanjem indeksa onih dviju ploha, kojima je brid jednolično otupila. Na pr. neka ploha leži u zoni između plohe (211) i plohe (121), t. j. ona otupljuje jednolično brid tih dviju ploha. Indeks je te plohe (332), jer je:

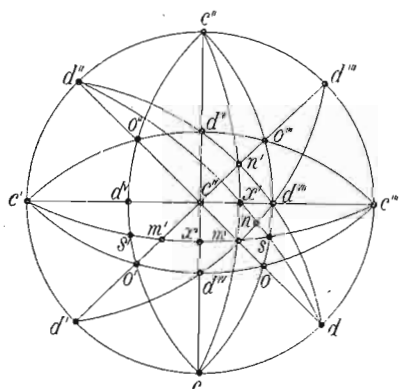
$$\begin{array}{r} 2 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ \hline 3 & 3 & 2. \end{array}$$

Lako se može razabrati, da ploha, koju smo izveli zbrajanjem indeksa dviju ploha, koje ona jednolično otupljuje, leži u istoj zoni sa te dvije plohe; t. j. sve tri su plohe — (211), (121), (332) — tautozonalne. Ovakovo računsko izvadjanje ploha zbrajanjem indeksa dviju ploha nazvao je V. Goldschmidt *komplifikacijom* ili *zakonom komplikacije*. Kako se izvadjanjem



iz zona mogu naći sve moguće plohe na nekom kristalu (28), tako se one mogu izvesti i pomoću zakona komplikacije iz kristala sa 4 plohe, koje imaju jednostavne indekse, na pr. iz kristala sa plohama (100), (010), (001) i (111).

**30. Medju kristalima može biti samo sedam vrsta kristalnih forma.** U sustavu od 9 zona nalazi zakon zona svoj potpuni izražaj; on je osnova svih kristalnih forma, pa ako pokušamo istraživati, koliko je vrsta forma moguće da se razvije medju kristalima, vidjet ćemo, da je zakon zona ograničio broj tih forma: medju kristalima ima samo 7 vrsta forma (31). Da to razmotrimo! Eno na slici 92., tačke  $d'$ ; ona se nalazi na presjecištu dviju zona  $cc' - d'c^{iv}d'''$ . To je dakle moguća ploha na kristalu. Sa ostalim plohama vezana je ona ne samo zonama  $cc' - d'c^{iv}d'''$  nego i zonama  $d'd^{vii}d^{vii}d'''$ . Ali zona  $d'd^{vii}d^{vii}$  siječe zonu  $doc^{iv}d''$  u tački  $m$ ; t. j. u toj se tački nalazi moguća ploha  $m$ , koja je vezana s ostalim plohama na kristalu zonama  $d'd^{vii} - dc^{iv} - c'''xc' - cx'c''$ . A zona  $c'''mc'$  siječe zonu  $cc''$  u tački  $x$ ; u toj je tački dakle ležište plohe  $x$ , koja je vezana s ostalim plohama na kristalu zonama  $cc^{iv} - c'''mc'$ . I zona  $xmc'''$  siječe zonu  $cod^{vii}$  u tački  $s$ ; tu se dakle opet nalazi jedna ploha  $s$ , koja je povezana s ostalim plohama na kristalu zonama  $xmc''' - coc'' - dd''$  napokon zona  $dsx'$  siječe zonu  $d'd^{vii}md^{vii}$  u tački  $n$ , a tu se nalazi mjesto moguće plohe  $n$ , koja je vezana s ostalim plohama zonama  $dsx' - d'vmd^{vii}$ .



Sl. 92.

može imati 1, 2, 3, 4, 6, 8, 12, 16, 24 ili 48 ploha. Sa drugim kojim brojem ploha ne može da se razvije ni jedna kristalna forma. Pa eto i ta pojava, koja nije ništa drugo nego posljedica unutrašnje pravilne gradje, posljedica zakona parametara, zona i simetrije odvaja kristale od običnih geometrijskih forma.

Iz toga zonalnoga sklopa razabira se, da je moguće samo 7 vrsta kristalnih forma, koje su u našoj projekciji označene slovima  $ocdmxsn$ . Položaj svake plohe ovih forma tačno je određen sa dvije poznate zone i to je jedno od pravila, po kome znamo, da je položaj neke plohe na kristalu tačno određen, ako ta ploha leži u dvije poznate zone. Sve druge moguće kristalne forme samo su osobiti slučajevi ovih 7 vrsta forma (31).

Kako je broj vrsta kristalnih forma ograničen, tako je ograničen i broj kristalnih ploha. Neka kristalna forma

Dabome da forme sa 1, 2 i 3 plohe ne mogu dolaziti same za sebe kao jednostavne forme. Ako se na kristalu pojavljuju, pojavljuju se samo kao kombinacije sa drugim jednostavnim formama (16). Ima tako minerala, koji se kristalizuju na pr. u trostranoj (trigonskoj) prizmi; ali kako je svaka prizma otvorena forma (16), dakle forma, koja ne zatvara potpunoma kristalov prostor, prilazi toj prizmi još jedna forma, na pr. baza ili pinakoid, koji će zajedno sa prizmom taj prostor zatvoriti. A ni baza (pinakoid) ne može sama da se pojavi na nekom kristalu, jer je sastavljena tek od dvije plohe, koje uvijek, kad se razviju, razvijaju se samo uz druge jednostavne forme. Da dvije plohe baze (pinakoida) i tri plohe prizme nisu iste vrste, dakle jedna forma, lako ćemo se osvjedočiti, ako ispitujemo tako gradjenom kristalu njegova fizička svojstva. Pri tom će se ispitivanju pokazati, da su tri plohe prizme posve drugih svojstava negoli dvije plohe baze (pinakoida). U kristalima asimetrijskim (24), koji su se razvili bez ijedne vrste simetrije, pojavljuju se forme sa jednom jedinom plohom. Prirodno je, da se takve jednostavne forme mogu pojaviti na kristalu samo kao kombinacije sa ostalim jednostavnim formama. Kad bismo ispitivali fizička svojstva takve kristalne kombinacije, našli bismo, da paralelni parovi ploha, koji izgradjuju kristal, nisu istovrsni, nego da svaka pojedina ploha pokazuje svoja zasebna svojstva; dakle svaka je ploha sama za sebe samostalna forma.

**31. Kristalne su se plohe razvile kao piramidske, prizmatске ili pinakoidske plohe.** Plohe, koje su se razvile na kristalu, mogu biti različito položene prema kristalnim osima. One plohe, koje su tako položene, da sijeku sve tri osi u nekoj izmjerljivoj udaljenosti, zovu se *plohe piramide*<sup>1)</sup> ili *piramidske plohe*. Piramidske plohe stvaraju dakle na svakoj kristalnoj osi odsječke ili parametre (sl. 93.). U kakvom su međusobnom odnosu ti odsječci (parametri), razabiramo iz odnosa parametara, koji ima općenu oznaku ( $ma:nb:pc$ ). Taj odnos parametara označuje piramidsku plohu, koja je prema osima tako položena, da siječe os  $a$  u udaljenosti  $m$ , os  $b$  u  $n$ -puta tolikoj udaljenosti, os  $c$  u  $p$ -puta tolikoj udaljenosti; koeficijenti  $mnp$ , kako znamo (22), uvijek su cijeli i obično mali brojevi.

Neka ploha na kristalu može biti tako položena, da siječe samo dvije osi u izmjerljivoj udaljenosti, dok treću siječe u neizmjerljivoj udaljenosti, t. j. s njom je paralelna. Takve plohe, koje sijeku dvije osi u izmjerljivoj udaljenosti, a treću u neizmjernosti, zovemo plohama *prizme*<sup>2)</sup> ili *prizmat-skim plohama*. Ako su plohe paralelne sa vertikalnom osi  $c$ , a osi  $a$  i  $b$  sijeku u izmjerljivoj udaljenosti, onda one tvore *vertikalnu prizmu* ili samo prizmu (sl. 94.). Ako su plohe paralelne sa osi  $a$  ili sa osi  $b$ , a sijeku os  $b$  i  $c$  u izmjerljivoj udaljenosti, onda te plohe tvore *položenu prizmu* ili

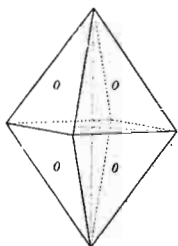
<sup>1)</sup> Od grč. *pýramis* piramida.

<sup>2)</sup> Od grč. *prísma*, ono, što je otpiljeno.

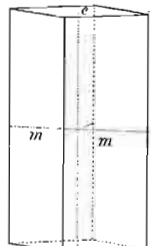
domu<sup>1)</sup> (sl. 95.). Općeniti odnos parametara vertikalne prizme označujemo ovako ( $ma:nb:\infty c$ ), a dome ( $\infty a:nb:pc$ ) ili ( $ma:\infty b:pc$ ); svagdje ovdje koeficijenti  $m$   $p$   $n$  znače cijele obično male brojeve.

Moguć je i treći slučaj, gdje su plohe tako položene, da sijeku jednu os u udaljenosti 0 (nul), a sa druge dvije su paralelne. Takve plohe zovemo plohama pinakoida<sup>2)</sup> ili pinakoidskim plohama. Te plohe tvore forme samo sa dvije plohe (sl. 94. ploha  $c$ ) i njihov parametarski odnos ima uvijek dva parametra neizmjerljivo velika,  $\infty$ ; dok je jedan jedinica; dakle:

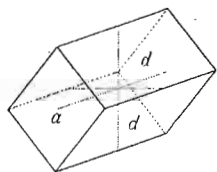
$$(\infty a:\infty b:c), a:\infty b:\infty c), (\infty a:b:\infty c).$$



Sl. 93.



Sl. 94.



Sl. 95.

Ako promotrimo odnos parametara kod ove tri vrste ploha, vidjet ćemo, da su parametri svih tih ploha sadržani u parametrima piramidskih ploha. Piramidске plohe mogu služiti kao ishodište za sve druge vrste ploha, što se pojavljuju na kristalu ili su na njemu moguće; iz piramide možemo izvesti sve ostale forme, koje su među kristalima moguće. Općeniti znak neke piramide jest ( $ma:nb:pc$ ). Ako u toj piramidi raste os  $c$ , sjeći će piramida tu os u sve većim parametrima, t. j. piramida će postajati sve šiljatija, koeficijent za parametar  $c$  bivati će sve veći težeći u beskonačnost, dakle:

$$\begin{aligned} ma:nb:pc \\ ma:nb:2c \\ ma:nb:3c \\ \vdots \\ ma:nb:\infty c. \end{aligned}$$

Piramida ( $ma:nb:pc$ ) prešla je u vertikalnu prizmu ( $ma:nb:\infty c$ ) (sl. 94. ploha  $m$ ).

1) Od grč. *dōma*, krov.  
2) Od grč. *pinax*, ploča.

Ali može se dogoditi, da u nekoj piramidi ( $ma:nb:pc$ ) počinje os  $a$  bivati sve veća ili, što je isto, parametar za os  $a$  biva sve veći. Tu postoji mogućnost, da će taj parametar u nekom slučaju postati neizmjerljivo velik, t. j. ploha će biti paralelna sa osi  $a$ ; dakle:

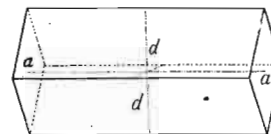
$$\begin{aligned} ma:nb:pc \\ 2a:nb:pc \\ 3a:nb:pc \\ \vdots \\ \infty a:nb:pc \end{aligned}$$

Piramida ( $ma:nb:pc$ ) prešla je u domu ( $\infty a:nb:pc$ ). Tu domu zovemo uzdužnom, jer su joj plohe paralelne sa uzdužnom osi  $a$ , a druge dvije osi sijeku u izmjerljivoj udaljenosti (sl. 95. ploha  $d$ ).

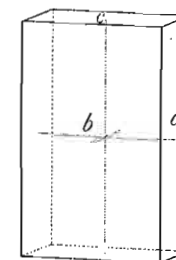
Moguć je i taj slučaj, da u nekoj piramidi ( $ma:nb:pc$ ) raste os  $b$ , t. j. koeficijent za parametar  $b$  biva sve veći, pa kad postane neizmjerljivo velik, prijeći će piramida u domu; dakle:

$$\begin{aligned} ma:nb:pc \\ ma:2b:pc \\ ma:3b:pc \\ \vdots \\ ma:\infty b:pc. \end{aligned}$$

Piramida  $ma:nb:pc$  prešla je u domu, koju zovemo poprečnom domom, jer su joj plohe paralelne sa poprečnom osi  $b$ , a druge dvije osi sijeku u izmjerljivoj udaljenosti (sl. 96. ploha  $d$ ).



Sl. 96.



Sl. 97.

Ako su u nekoj piramidi sva tri parametra jednaka ( $a:b:c$ ), može se dogoditi, da koeficijenti za dva parametra jednako rastu; u jednom slučaju postat će oni neizmjerljivo veliki i piramida  $a:b:c$  prijeći će u pinakoid. Ako na pr. bivaju parametri  $a$  i  $b$  sve veći, dobit ćemo:

$$\begin{array}{l} a : b : c \\ 2a : 2b : c \\ 3a : 3b : c \\ \vdots \\ \infty a : \infty b : c. \end{array}$$

Piramida ( $a : b : c$ ) prešla je u pinakoid ( $\infty a : \infty b : c$ ), koji zovemo osnovnim pinakoidom, bazom ili baznim pinakoidom (sl. 97. ploha  $c$ ).

Ima li neka piramida parametre ( $a : b : c$ ), a parametri za osi  $a$  i  $c$  stanu bivati jednako sve veći, narast će oni do neizmjerne veličine, pa ćemo opet imati kao posljedicu toga rastežnja razvitak jednoga pinakoida; evo:

$$\begin{array}{l} a : b : c \\ 2a : b : 2c \\ 3a : b : 3c \\ \vdots \\ \infty a : b : \infty c. \end{array}$$

Piramida ( $a : b : c$ ) prešla je u pinakoid ( $\infty a : b : \infty c$ ), koji zovemo uzdužnim, jer je osim glavne osi  $c$  paralelan i sa uzdužnom osi  $a$  (sl. 96. ploha  $a$ ).

Još je moguć samo jedan slučaj, a taj je, da u piramidi ( $a : b : c$ ) raste jednako parametar za os  $b$  i  $c$ ; evo:

$$\begin{array}{l} a : b : c \\ a : 2b : 2c \\ a : 3b : 3c \\ \vdots \\ a : \infty b : \infty c. \end{array}$$

Piramida ( $a : b : c$ ) prešla je u pinakoid ( $a : \infty b : \infty c$ ), koji zovemo poprečnim, jer je osim glavne osi  $c$  paralelan i sa poprečnom osi  $b$  (sl. 97. ploha  $b$ ).

Uzdužni i poprečni pinakoid mogli bismo izvesti i iz uzdužne i poprečne dome, a osnovni pinakoid iz prizme.

To su vrste forma, koje možemo da izvedemo iz piramide. Vidimo dakle, da i sam položaj ploha prema kristalnim osima ograničuje broj vrsta kristalnih forma; njih ima samo sedam:

1. piramida ( $ma : nb : pc$ ),
2. prizma ( $ma : nb : \infty c$ ),
3. uzdužna doma ( $\infty a : nb : pc$ ),
4. poprečna doma ( $ma : \infty b : pc$ ),
5. osnovni pinakoid ( $\infty a : \infty b : c$ ),
6. uzdužni pinakoid ( $\infty a : b : \infty c$ ),
7. poprečni pinakoid ( $a : \infty b : \infty c$ ).

**32. Kristalne forme možemo svrstati u 32 razreda ili u 6 sustava.** Kad smo govorili o simetrijskoj gradnji kristala, istaknuli smo, da se simetrijska gradnja očituje u ravnini simetrije, u osi simetrije i u centru simetrije (24). Neke su kristalne forme tako građene, da imaju izvjestan broj ravnina simetrije  $nP$  i osi simetrije  $nL$ , pa i centar simetrije  $C$ ; neke imaju izvjestan broj ravnina simetrije  $nP$  i osi simetrije  $nL$ , a nemaju centra simetrije  $C$ ; neke imaju samo izvjestan broj osi simetrije  $nL$ , a nemaju ravnine simetrije  $P$ , ni centra simetrije  $C$ ; neke opet imaju samo centar simetrije  $C$ , dok ravnine simetrije  $P$  i osi simetrije  $L$  nemaju, a ima ih i takovih, koje nemaju nikakvog elementa simetrije, ni ravnine  $P$ , ni osi  $L$ , ni centra simetrije  $C$ .

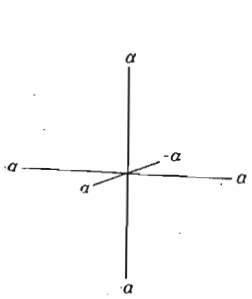
I ako istražujemo baš ovu simetrijsku gradju kristala, ako istražujemo, na koje se sve načine ove tri vrste simetrija (ravnina, os i centar simetrije) mogu pojaviti u kristalima i u kolikom broju (stupanj simetrije), vidjet ćemo, da su moguća samo 32 načina. Zato smo razdijelili sve kristalne forme, koje su u svijetu kristala moguće, u 32 razreda ili klase, pa velimo, da su *s obzirom na sve vrste simetrija i na njihov broj moguća samo 32 razreda ili klase kristalnih forma*. Na pr. jedan razred kristalnih forma može imati 9P, 13L i C; drugi neki razred može imati 6P, 7L, ali nema C; jedan može imati 3P, 7L i C i t. d. I takova su eto u svijetu kristala moguća samo 32 slučaja, s kojima ćemo se tačnije upoznati, kad se budemo bavili pojedinim kristalnim sustavima. *Kristalne forme, što se okupljaju u jednom razredu, imaju uvijek isti stupanj simetrije*, t. j. imaju jednake vrste simetrije i jednaki broj simetrija.

Ma da se svaki od ova 32 kristalna razreda odlikuje svojom vrsti simetrije i svojim brojem simetrija, ipak ima medju tim razredima po nekoliko njih, koji imaju neka geometrijska i fizička svojstva jednaka. Od geometrijskih su svojstava u prvom redu *kristalne osi*, a od fizičkih naročito *optička svojstva*, koja su jednaka u nekoliko kristalnih razreda. I baš *s obzirom na kristalne osi možemo skupiti nekoliko razreda u jednu grupu*.

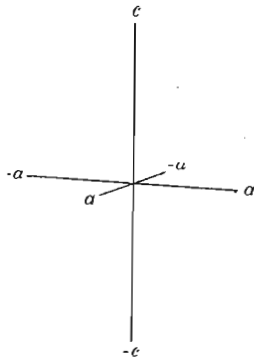
Kristalne osi, rekli smo, da su pomišljeni pravci, što prolaze središtem kristala, tu se sijeku tvoreći osni krst. Do njih smo došli (21) pomoću tri plohe ili tri brida (ivice), koje se sijeku u jednom uglu (roglju). Kako se sve plohe, što se pojavljuju na nekom kristalu, moraju pokoravati zakonu zona, parametara i simetrije, koji su zakoni ograničili broj kristalnih ploha (31), tako su i kristalne osi podvržene tim zakonima, jer su izvedene iz kristalnih ploha (21); zato je dakako ograničen i broj slučaja tih osi. Moguće je samo 6 slučajeva za smještaj i dužinu kristalnih osi (ili osnoga krsta):

1. *slučaj*: 3 jednako dugačke osi  $a, a, a$ , koje su medju sobom okomite, koje se dakle sijeku pod pravim kutom (sl. 98.); osni su kutovi (uglovi)  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ .

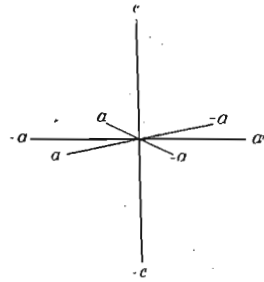
2. slučaj: 3 osi  $a, a, c$ , koje su među sobom okomite; dvije su jednake dužine i pružaju se horizontalno, a treća je vertikalna, te dulja ili kraća (sl. 99.); osni su kutovi (uglovi)  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ .



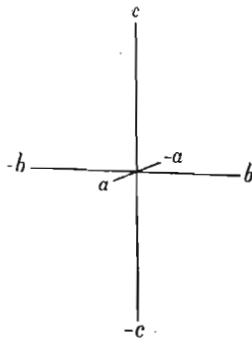
Sl. 98.



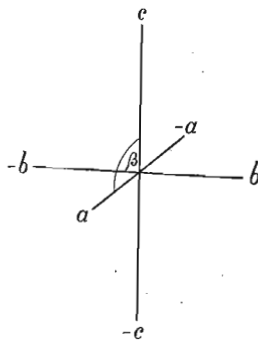
Sl. 99.



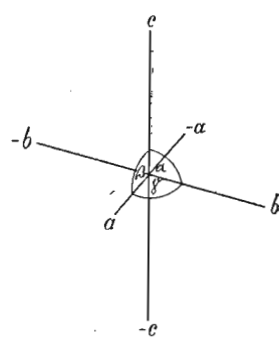
Sl. 100.



Sl. 101.



Sl. 102.



Sl. 103.

3. slučaj: 4 osi  $a, a, a, c$ , tri su jednake dužine, pružaju se horizontalno sijekući se pod kutom od  $60^\circ$ , a četvrta je duža ili kraća, te na one tri okomita (sl. 100.) (vidi o tim osima još kod 40); osni su kutovi (uglovi)  $\alpha = \gamma = 60^\circ$  (ili  $120^\circ$ ),  $\beta = 90^\circ$ .

4. slučaj: 3 osi  $a, b, c$ , koje su među sobom okomite, ali su sve tri nejednake dužine; jedna je od njih vertikalna, a druge su dvije horizontalne (sl. 101.); osni su kutovi  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ .

5. slučaj: 3 osi  $a, b, c$ , sve tri nejednake dužine; dvije se sijeku pod šiljatim kutom (uglom), a treća je na njih okomita i horizontalna (sl. 102.), osni su kutovi  $\alpha = \gamma = 90^\circ$ ,  $\beta > 90^\circ$ .

6. slučaj: 3 osi  $a, b, c$ , sve tri nejednake dužine i sve tri se sijeku

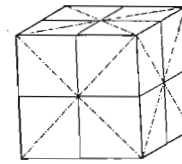
pod šiljatim kutom (sl. 103.) tako, da su osni kutovi  $\alpha, \beta, \gamma$  šiljati i moraju se mjeriti na goniometru nači.

Tih 6 slučajeva kristalnih osi prikazuju sve kristalne forme, u kojima se uopće može neki mineral kristalizovati, ili koje su uopće moguće u svijetu kristala. Prema tome možemo sve kristalne forme s obzirom na kristalne osi svrstati u 6 grupa, koje zovemo kristalnim sustavima. Jedan kristalni sustav obuhvata više kristalnih razreda bez obzira na vrste i broj njihovih simetrija.

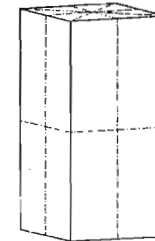
Osne ravnine, t. j. ravnine, u kojima leže kristalne osi, dijele prostor, što ga zatvaraju plohe nekoga kristala, u 8 dijelova, u 8 oktanata. Ako pokušamo taj prostor podijeliti nekom ravninom u simetrijske dijelove, vidjet ćemo, da je moguće i opet samo 6 slučajeva takvoga dijeljenja. To simetrijsko dijeljenje zavisi o onih 6 vrsta kristalnih osi:

1. slučaj: U sustavu sa tri jednake, a među sobom okomite osi, možemo kristalan prostor podijeliti u simetrijske dijelove na 9 načina (sl. 104.); taj sustav ima 9 ravnina simetrije, 9 P. Zovemo ga *teseralnim*<sup>1)</sup> sustavom.

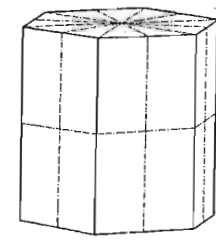
2. slučaj: U sustavu sa tri među sobom okomite osi, od kojih su dvije jednake dužine i horizontalne, a treća je vertikalna, duža ili kraća, možemo razdijeliti kristalan prostor u simetrijske dijelove na 5 načina (sl. 105.); taj sustav ima dakle 5 ravnina simetrije, 5 P, a zovemo ga *tetragonskim*<sup>2)</sup> sustavom.



Sl. 104.



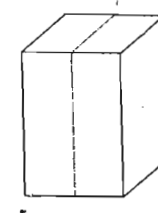
Sl. 105.



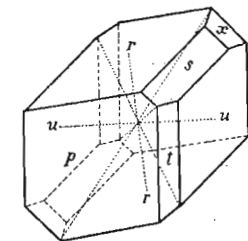
Sl. 106.



Sl. 107.



Sl. 108.



Sl. 109.

<sup>1)</sup> Od grč. *téssera*, kocka.

<sup>2)</sup> Od grč. *tétrágonos*, četvorouglat.

3. *slučaj*: U sustavu sa četiri osi, od kojih su tri jednake dužine horizontalne, a sijeku se pod kutom od  $60^\circ$ , dok je četvrta os na te tri okomita, možemo razdijeliti kristalan prostor u simetrijske dijelove na 7 načina (sl. 106.); taj sustav ima dakle 7 ravnina simetrije, 7P, a zovemo ga *heksagonskim<sup>1)</sup>* sustavom.

4. *slučaj*: U sustavu sa tri osi, koje su medju sobom okomite, ali su nejednake dužine, možemo razdijeliti kristalan prostor u simetrijske dijelove na tri načina (sl. 107.); taj sustav ima dakle 3 ravnine simetrije, 3P, a zovemo ga *rompskim* sustavom.

5. *slučaj*: U sustavu sa tri nejednako dugačke osi, od kojih se dvije sijeku pod šiljatim kutom (uglom), a treća je na njih okomita i horizontalna, možemo razdijeliti kristalan prostor u simetrijske dijelove samo na jedan način (sl. 108.); taj sustav ima dakle jednu ravninu simetrije, P, a zovemo ga *monoklinskim<sup>2)</sup>* sustavom.

6. *slučaj*: U sustavu sa tri nejednake osi, koje se sijeku pod šiljatim kutom (uglom), ne možemo razdijeliti kristalan prostor ni u kakve simetrijske dijelove; taj sustav nema ni jedne ravnine simetrije (sl. 109.), a zovemo ga *triklinskim<sup>3)</sup>* sustavom.

**33. Kristali mogu biti čitavi ili se gubitkom nekoga elementa simetrije raspadaju u polovine, četvrtine i osmine.** Kristalne osi, kako smo malo čas čuli, karakteristične su za neki kristalni sustav; po osima određujemo sustave. U takvom sustavu okuplja se više kristalnih razreda, koji se odlikuju jednakim osima. Ali dok kristalne forme nekoga sustava imaju jednake osi, nemaju sve te forme i jednake vrste simetrije i jednaki broj simetrija. S obzirom dakle na osi, forme su nekoga sustava medju sobom jednake, ali s obzirom na vrstu i broj simetrija, mogu one biti medju sobom jako različite. Svaka vrsta kristalnih osi (osni krst) ima svoje simetrije (32), pa ako te iste simetrije imaju i forme toga sustava, zovemo ih čitavim formama ili *holoedrima<sup>4)</sup>*. Holoedri su dakle forme istoga stupnja simetrije, koji stupanj simetrije ima i osni krst tih forma. Tako je na pr. oktaedar, lik teseralnoga sustava, holoedar ili čitavi lik, jer ima isti stupanj simetrije, koje ima i osni krst teseralnoga sustava (sl. 111.). Ali ako forme nekoga sustava imaju manji stupanj simetrije, nego što ga ima osni krst toga sustava, zovemo te forme polovicama ili *hemiedrima<sup>5)</sup>*, četvrtinama

<sup>1)</sup> Od grč. *hekságonos*, šestorouglat.

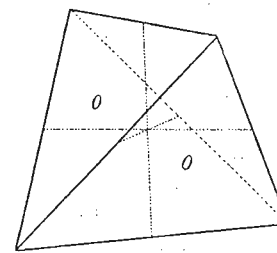
<sup>2)</sup> Od grč. *mónos*, jedini i *klínetn*, nagnuti; ime je izvedeno iz položaja kristalnih osi, koje tvore dva prava kuta, ugla ( $\alpha$  izmedju osi *b* i *c* i  $\gamma$  izmedju osi *a* i *b*) i jedan šiljati ( $\beta$  izmedju osi *a* i *c*).

<sup>3)</sup> Od grč. *trís*, trostruk i *klínein*, nagnuti t. j. sve tri su osi tako položene, da tvore šiljate kutove (uglove).

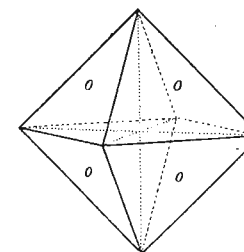
<sup>4)</sup> Od grč. *hólos*, čitav, i *hédra*, ploha.

<sup>5)</sup> Od grč. *hēmí*, pol.

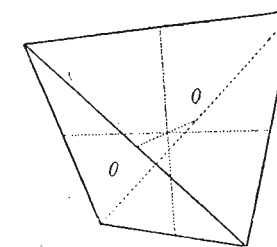
ili *tetartoedrima<sup>1)</sup>*, osminama ili *ogdoedrima<sup>2)</sup>*). Tako je na pr. tetraedar, lik teseralnoga sustava, hemiedar, jer ima manji stupanj simetrija, nego što ga ima osni krst teseralnoga sustava; tetraedar ima kao i oktaedar tri



Sl. 110.



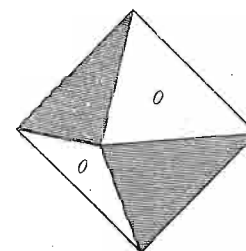
Sl. 111.



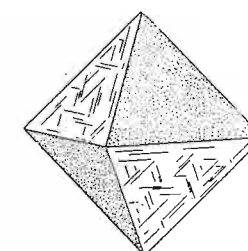
Sl. 112.

osi jednake dužine, koje su medju sobom okomite, ali ima samo 6P (sl. 110., 112.).

Kako dolazi do razvitka hemiedrije, tetartoedrije i ogdoedrije? Tako da u kristalnom sustavu iščeznu neki elementi simetrije, naročito ravnine simetrije. Iščezavanje simetrija u nekom kristalnom sustavu stoji dakako do unutrašnje gradje kristala; pa kad se pri rastezanju kristala svrstavaju mineralne čestice tako, da njihov poredjaj uzrokuje gubitak neke ravnine simetrije, povlači taj gubitak za sobom i gubitak svih ravnina simetrije iste vrste. A za gubitak ravnine simetrije vezan je i gubitak nekih ploha, koje bi se bile na kristalu razvile, da nije izgubio neke ravnine simetrije. Kad se dakle gube ravnine simetrije, gube se na kristalu i neke plohe i to tako, da se iščezavanje ploha vrši naizmjenice: od svakoga para ploha, koji je izgubio svoju ravninu simetrije, jedna ploha iščezava, druga ostaje (sl. 113.);



Sl. 113.



Sl. 114.

plohe, koje su ostale, rastu dalje, dok se ne sastanu, stvarajući na mjestu sastajanja bridove (ivice) i uglove (rogljeve). Na taj se način, mjesto čitava

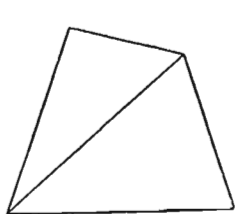
<sup>1)</sup> Od grč. *tétarton*, četvrtina.

<sup>2)</sup> Od grč. *ógdoos*, osmi.

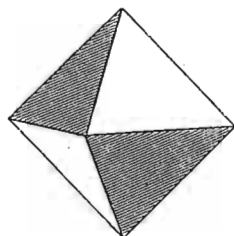
lika (holoedra) sa potpunim brojem ploha, razvio lik sa polovicom ploha, polulik ili hemiedar.

Iz svakoga holoedra gubitkom ravnine simetrije mogu na taj način da postanu dva hemiedra, koja su geometrijski potpunoma jednaka, ali, se razlikuju položajem svojih ploha prema kristalnim osima (sl. 110. i 112.). Ti su hemiedri korelatni<sup>1)</sup> ili komplementarni<sup>2)</sup> likovi, t. j. oni se uzajamno dopunjuju u lik, koji je geometrijski potpuno jednak holoedru, iz koga su postali (sl. 111.). Takav prividan holoedar, koji je postao dopunjavanjem dvaju hemiedara, nije ništa drugo, doli kombinacija dvaju hemiedara. To je pseudoholoedar<sup>3)</sup> sa pseudosimetrijama, jer geometrijski sudeći, ima on onaj stupanj simetrije, koji pripada takvom holoedru, ali kristalografski on je nižega stupnja simetrije, njegove plohe nisu istovrsne (15), te se fizički različito ponašaju (25); na takvom prividnom holoedru (pseudoholoedru) samo su one plohe, koje dolaze naizmjenice, iste vrste, pa su zato i sva fizička svojstva samo na onim ploham, koje se pojavljuju naizmjenice, ista (sl. 114.). Medju mineralima, kad se pojave korelatni likovi u kombinaciji, obično su plohe jednoga lika hrapave, drugoga glatke ili su jednoga sjajne, drugoga mutne.

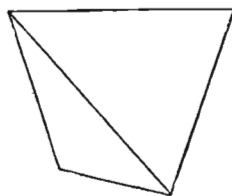
Kad se gubitkom ravnine simetrije neki holoedar raspada u dva korelatna hemiedra, mogu oni imati još neke ravnine simetrije, ali može pri tom raspadanju doći i do takvih hemiedara, koji nemaju više ni jedne ravnine simetrije. Hemiedri, u kojima su se još ušćivale neke ravnine simetrije, jesu sukkladni ili kongruentni<sup>4)</sup>; oni ne samo da su medju sobom zrcalno jednaki (24), nego se njihova simetričnost očituje još i u tome, što se okretanjem mogu dovesti u takav položaj, da se plohe, bridovi (ivice) i uglovi (rogljevi) jednoga i drugoga lika tačno pokrivaju; za oba



Sl. 115.



Sl. 116.



Sl. 117.

takva kongruentna lika dostaje jedan model, da ih prikaže; u jednom položaju pokazuje taj model jedan lik, u drugom položaju drugi lik; jedan

<sup>1)</sup> Od lat. *correlativus*, uzajaman.

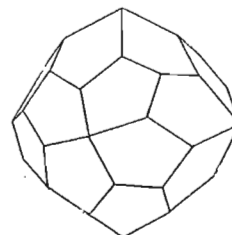
<sup>2)</sup> Od lat. *complementarius*, nadopunjujući.

<sup>3)</sup> Od grč. *pseudós*, lažan.

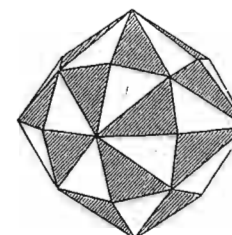
<sup>4)</sup> Od lat. *cóngruens*, sukladan.

lik zovemo *pozitivnim*, a drugi *negativnim*, a jedan se od drugoga razlikuje tek po svom položaju spram kristalnih osi (sl. 115., 116., 117.).

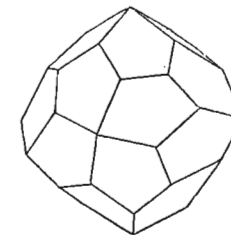
Ako oba korelatna hemiedra nemaju više ni jedne ravnine simetrije, a izgubili su i centar simetrije, zovemo takve likove *enantiomorfnima*<sup>1)</sup>; enantiomorfni likovi ne mogu se nikakvim okretanjem dovesti u položaj, gdje bi se njihove plohe, bridovi (ivice) i uglovi (rogljevi) medjusobno pokrivali; oni su samo još zrcalno jednaki kao što je primjerice jednaka desna ruka lijevoj, pa zato i razlikujemo desne i lijeve enantiomorfne likove. Slika 118. i 120. prikazuje desni i lijevi giroedar, koji su postali gubitkom svih ravnina simetrije i centra simetrije iz heksakisoktaedra (sl. 119.).



Sl. 118.

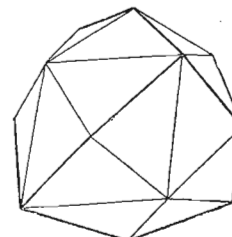


Sl. 119.

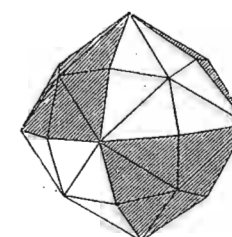


Sl. 120.

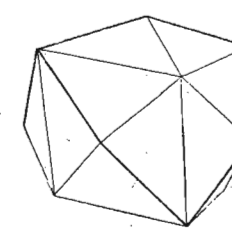
Kako se gubitkom ravnina simetrije raspada holoedar (sl. 116.) u dvije polovine, u dva hemiedra (sl. 115., 117.), tako se mogu na isti način oni hemiedri, koji još imaju ravnine simetrije (sl. 121., 123.), a sastavljeni su od više negoli četiri plohe, raspasti svaki u dva nova lika, koji imaju samo četvrtinu ploha svoga iskonskoga holoedarskoga lika (sl. 124., 126.); te četvrtinske likove zovemo tetartoedrima. Slika 124. i 126. prikazuje dva tetraedrijska pentagonska dodekaedra, koji su postali iz heksakisoktaedra (sl. 122.) ili heksakistetraedra (sl. 125.); heksakisoktaedar raspada se u četiri takva dodekaedra. Gubitkom dakle ravnina



Sl. 121.



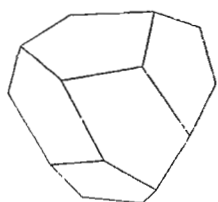
Sl. 122.



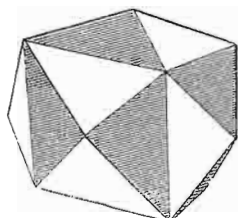
Sl. 123.

simetrije može se holoedar raspasti ili u dva hemiedra ili u četiri tetartoedra. Tetartoedri mogu imati još po koju ravninu simetrije, ali su većinom bez

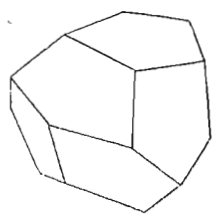
<sup>1)</sup> Od grč. *enántios*, suprotan, *mórfhē* lik.



Sl. 124.



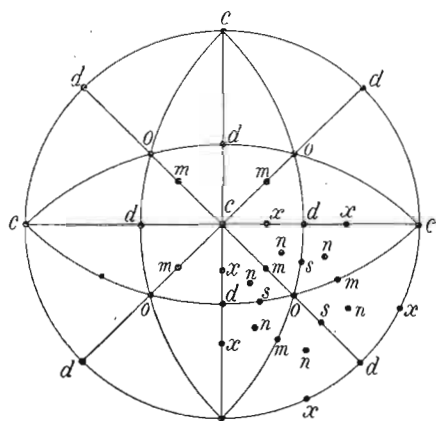
Sl. 125.



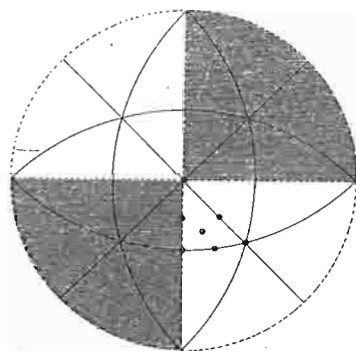
Sl. 126.

ikakove ravnine simetrije; ako gubitkom svih ravnina simetrije, izgube još i centar simetrije, onda su dakako enantiomorfni. Oni tetartoedri (a takva su samo dva slučaja u heksagonskom sustavu), koji još imaju neku ravninu simetrije, mogu i nju izgubiti, pa se tako svaki od njih raspada u dva nova lika, koji imaju samo osminu ploha svoga iskonskoga holoedra; holoedar se tako raspao u osam novih likova, u osminkne likove, u ogdoedre.

Kad se pri razvitku neke mineralne tvari mineralne čestice tako svrstavaju, da kristal izraste sa manjim brojem simetrije, nego što ih ima njegov osni krst, dolazi, kako smo malo časa čuli, do razvitka hemiedara, tetartoedara i ogdoedara. No da li se gubitkom ravnine simetrije raspada uvijek holoedar u nove likove? Ne. Samo oni likovi, kojih plohe ne leže u ravninama simetrije, što se gube, daju nove likove (sl. 127., 128.), dok oni likovi, kojih plohe leže u ravninama simetrije, koje se gube, ostaju



Sl. 127.

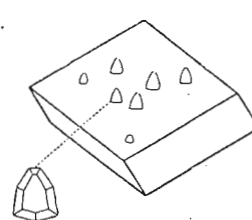


Sl. 128.

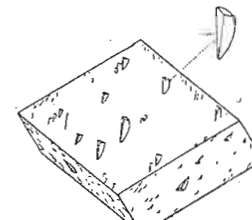
geometrijski nepromijenjeni. Ako smo kristal prikazali stereografskom projekcijom, gdje krugovi i pravci, što prolaze središtem projekcije, označuju ne samo zone, nego ujedno i ravnine simetrije, možemo lako prikazati i razvitak novih likova: na iscrtanim pravcima i na iscrtanom krugu (koji

prikazuju ravnine simetrije) leže likovi, koji ostaju geometrijski nepromijenjeni (jer se te ravnine gube), a likovi na izvučenim pravcima i krugovima daju nove geometrijske likove (jer se te ravnine simetrije ne gube).

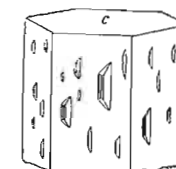
Istaknuli smo, da pri razvitku hemiedrijskih, tetartoedrijskih i ogdoedrijskih likova ostaju neki geometrijski nepromijenjeni. Ali samo geometrijski. Jer kristalografski su oni zaista nižega stupnja simetrije, pa se fizički, uprkos njihovoj geometrijskoj simetriji i geometrijskoj holoedriji, ponašaju kao hemiedri, tetartoedri ili ogdoedri. Da je neki lik, koji je geometrijski posmatran holoedar, doista kristalografski hemiedar ili tetartoedar ili ogdoedar, razabira se najočitije po tome, što se u kombinacijama hemiedrijskih, tetartoedrijskih i ogdoedrijskih likova javljaju i takovi likovi, koji su po stupnju geometrijskih simetrija, dakle po svojoj izvanjoj formi, posve jednaki holoedrima. Ali da to nisu holoedri, znamo po tome, što po zakonu simetrija (24) mogu u kombinacije ući samo takvi likovi, koji imaju isti stupanj simetrije. Iz ovoga ujedno vidimo, da po geometrijskoj formi kristala ne možemo zaključiti, kojega je stupnja simetrije taj kristal. Ima mineralnih tvari, što se kristalizuju u formama, koje pokazuju veći stupanj simetrije, no što ga zaista ta mineralna tvar ima. Tako se na pr. kalcit  $\text{CaCO}_3$  i dolomit  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$  kristalizuju u romboedrima, na kojima možemo lako naći tri ravnine simetrije, četiri osi simetrije i centar simetrije (sl. 129. i 130.). Ali ako istražujemo fizička svojstva jednoga i drugoga minerala, na pr. njihove izjedine (25, 66), vidjet ćemo, da romboedri dolomita (sl. 130.) nemaju ravnine simetrije, nego samo jednu os simetrije i



Sl. 129.



Sl. 130.



Sl. 131.

centar simetrije; t. j. kalcit se kristalizuje u romboedrijskoj hemiedriji, dolomit u romboedrijskoj tetartoedriji; geometrijski su dakle jednaki, ali su fizički različiti. Apatit  $(\text{FCI})\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3$  pojavljuje se u heksagonskim kristalima, koji pokazuju geometrijski stupanj heksagonske holoedrije, t. j. imaju 7P, 7L i C., ali izjedine pokazuju (sl. 131.), da to nije holoedar nego hemiedar sa jednom ravninom simetrije, jednom osi simetrije i centrom simetrije. Na prizmatiskim ploham pojavljuju se naime izjedine kao monosimetrijske figure. Prema tome ni za jedan kristal, koji ima lice

holoedra, ne možemo tvrditi, da je holoedar, dok nismo istražili, kojega je stupnja simetrije.

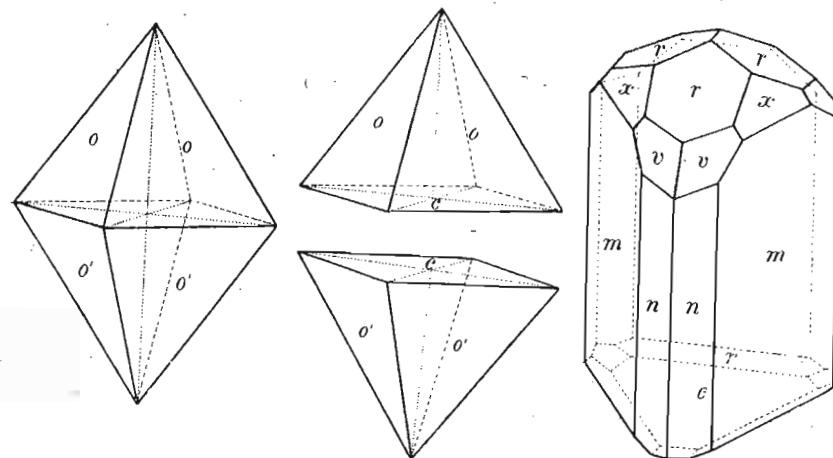
Mineralna tvar, koja se kristalizuje kao izvjesna mineralna vrsta, može se kristalizovati samo u jednom kristalnom razredu, dakle u kristalima, koji imaju određeni stupanj simetrije; t. j. razvija se samo ili u holoedrima ili samo u hemiedrima ili samo u tetartoedrima ili samo u ogdoedrima. Tako se na pr. galenit kristalizuje samo u teseralnoj holoedriji, halkopirit samo u tetragonskoj hemiedriji, kremen (kvarc) samo u heksagonskoj tetartoedriji, natrijski perjodat samo u ogdoedrima i t. d.

**34. Gubitkom ravnina simetrije razvijaju se neki kristali u hemimorfnim formama.** Gubitkom ravnine simetrije raspadaju se kristali višega stupnja simetrije u kristale nižega stupnja simetrije, pa tako dolazi do razvitka hemiedara, tetartoedara i ogdoedara (33). Ali gubitkom ravnine simetrije mogu se kristali višega stupnja simetrije raspasti i u takve likove nižega stupnja simetrije, koji su na jednom kraju (na pr. gornjem) posve drugačije gradjeni, negoli na drugom kraju (na pr. donjem). Do razvitka takvih kristala dolazi samo u onim sustavima, koji uz nejednake kristalne osi imaju još i neku ravninu simetrije; dakle u svim sustavima osim teseralnoga, koji ima sve osi jednake, i triklinskoga, koji nema ni jedne ravnine simetrije. Taj se razvitak vrši tako, da iščezne jedna ravnina simetrije, i to ona, koja je okomita na nejednaku os; u tetragonskom i heksagonskom sustavu dakle ona ravnina simetrije, koja je okomita na glavnu, vertikalnu os  $c$ , u rompskom sustavu ona, koja je okomita na koju god od tri kristalne osi, a u monoklinskom sustavu, koji ima samo jednu ravninu simetrije, i ta ravnina simetrije. Kristali, koji na taj način postanu iz kristala višega stupnja simetrije, imaju polovicu ploha onoga kristala, iz koga su postali; to su dakle pravi hemiedri, tetartoedri ili ogdoedri, ali kako uz polovinu svoga iskonskoga lika pokazuju ujedno i polovinu forme toga lika, zovemo ih *hemimorfnim*<sup>1)</sup> likovima.

Hemimorfni likovi ne samo da se svojom spoljašnjom gradjom razlikuju od hemiedrijskih, tetartoedrijskih i ogdoedrijskih likova, nego je i njihova unutrašnja gradja zasebna i dabome, da o toj unutrašnjoj gradji zavise i sva geometrijska, fizička i kemijska svojstva njihova. Već vanjskim svojim licem pokazuju, da su polarno gradjeni, t. j. na jednom kraju (polu) drugačiji su nego na drugom. Tako se na pr. tetragonska piramida (sl. 132), ako izgubi ravninu simetrije, koja je okomita na glavnu (vertikalnu) os, raspada u dvije polovine, u dva lika, koji su na jednom kraju (polu) vertikalne osi sastavljeni od piramidskih ploha, a na drugom kraju (polu) vertikalne osi od pinakoidske plohe (sl. 133). Ovdje vidimo, kako hemimorfni kristali ne mogu da dodju sami za sebe, jer su to otvo-

<sup>1)</sup> Od grč. *hēmi.* pol i *mórphē*, oblik.

rene forme (16), nego se razvijaju uvijek samo kao kombinacije; jednako se na takvim kombinacijama razabira, kako su moguće kristalne forme tek sa jednom jedinom plohom (30). Hemimorfni likovi nemaju nikada centra simetrije, a ako izgube i sve ravnine simetrije, onda su dakako enantiomorfni (33).



Sl. 132.

Sl. 133.

Sl. 134.

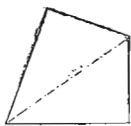
Kako su hemimorfni kristali na suprotnim stranama geometrijski različiti, tako su na suprotnim stranama i fizički različiti. Ako ih na primjer grijemo, postanu polarno električni, t. j. na jednom su kraju pozitivno električni, a na drugom negativno električni (102). Ta je pojava nemoguća kod holoedrijskih likova, jer su na suprotnim stranama jednake gradje, te su na tim stranama omedjeni i plohami iste vrste. Jednako će se pokazati polarna svojstva, ako hemimorfan mineral stanemo otapati; otapanje će se razvijati na suprotnim stranama različito; na mineralu će se otapanjem razvijati izjedine (25, 66), koje su na jednoj strani posve drugačije nego na suprotnoj.

Svaka kristalizovana vrsta minerala može se razviti samo sa izvjesnim stupnjem simetrije (33), pa će se tako neke mineralne vrste razvijati samo u hemimorfnim kristalima. Takav je na pr. mineral turmalin; kristalizovao se turmalin uz koje god prilike, on može da se kristalizuje samo u hemimorfnim kristalima i nikako drugačije (sl. 134).

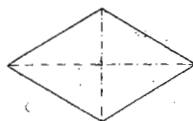
**35. Kristalne plohe mogu biti simetrijske i asimetrijske.** Simetrijske osobine kristala zapažaju se i na njegovim plohami. Pa kao što smo mogli kristale podijeliti ravninama simetrije u zrcalno jednake dijelove, možemo tako i plohe podijeliti *pravcem simetrije* u zrcalno jednake dijelove. Pravac simetrije odgovara ravnini simetrije, koja je okomita na kri-



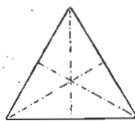
stalnu plohu. Ako neku plohu možemo podijeliti jednim pravcem simetrije u dva zrcalno jednaka dijela, onda je takva ploha *monosimetrijska*; na pr. plohe deltoidskoga dodekaedra (sl. 135.). Plohe, koje možemo podijeliti u simetrijske dijelove sa dva pravca simetrije, jesu *disimetrijske*; takove su na pr. plohe rompskoga dodekaedra (sl. 136.). Plohe, koje možemo podijeliti u simetrijske dijelove sa tri pravca simetrije, jesu *trisimetrijske*; na



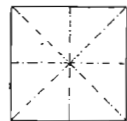
Sl. 135.



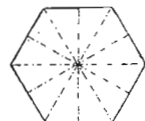
Sl. 136.



Sl. 137.



Sl. 138.



Sl. 139.

pr. plohe oktaedra (sl. 137.). Tetrasimetrijske plohe one su, koje se mogu podijeliti u simetrijske dijelove sa četiri pravca; na pr. plohe heksaedra (sl. 138.). Heksasimetrijske plohe nalazimo kod heksagonskoga pinakoida; te se plohe mogu podijeliti u simetrijske dijelove sa šest pravca simetrije (sl. 139.). Uz te vrste simetrijskih ploha ima ih, koje su *asimetrijske*. To su na pr. plohe heksakisoktaedra (sl. 144.). Kako su se ravnine simetrije nekoga kristala podudarale sa njegovim kristalnim ploham, tako se pravci simetrije kristalnih ploha podudaraju sa bridovima (ivicama) kristala.

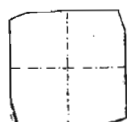
Osim pravca simetrije možemo naći na kristalnim ploham i *tačku simetrije*. Tačka simetrije odgovara osi simetrije, koja je okomita na kristalnu plohu. Tu ćemo simetriju naći, ako iz središta plohe pustimo okomite pravce na jednake stranice. Ti pravci mogu da tvore kut od  $180^\circ$ ; plohe sa tako divergirajućim pravcima zovu se *dimetrijske* plohe; one stoje okomito na digonskoj osi simetrije (sl. 140.). Takve plohe imaju monoklinski kristali. Ako okomiti pravci na jednake stranice plohe tvore medju sobom kut od  $120^\circ$ , ploha je *trimetrijska*. Trimetrijska ploha stoji



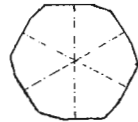
Sl. 140.



Sl. 141.



Sl. 142.



Sl. 143.



Sl. 144.

okomito na trigonskoj osi simetrije. Takve su na pr. plohe trigonskoga pinakoida (sl. 141.). Gdje pravci divergiraju za  $90^\circ$ , plohe su *tetrametrijske*; one stoje okomito na tetragonskoj osi simetrije, na pr. plohe tetragonskoga pinakoida (sl. 142.). Kod heksametrijskih ploha divergiraju pravci za  $60^\circ$ ; te su plohe okomite na heksagonsku os simetrije, na pr. plohe heksagonskog pinakoida (sl. 143.). Neke plohe su toliko asimetrijske da nemaju tačke simetrije (sl. 144.); takve su na pr. plohe heksakisoktaedra.

Dakako da simetrijske osobine kristalnih ploha stoje u najužoj vezi sa strukturom kristala. Zato su i fizička svojstva kristalnih ploha zavisna o stupnju njihove simetrije, što se osobito lijepo može posmatrati na izjedinama, koje dobivamo pomoću nekoga topila na kristalnim ploham (25, 66). Pa i tu se lijepo vidi, da geometrijska simetrija kristalne plohe nije isto što i kristalografska simetrija. Plohe prizme na apatitu morale bi biti disimetrijske, a izjedine pokazuju, da su one monosimetrijske (sl. 131.).

**36. Kristali su građeni pravilno.** Tokom dosadašnjega našega upoznavanja sa prirodom kristala, vidjeli smo, kako su njihove geometrijske osobine vezane za neke zakone, koji upravljaju harmonijom kristala. Ta se harmonija očituje u zakonu parametara, zakonu zona i zakonu simetrije, mimo kojih se ne može na kristalu razviti ni jedna ploha, ni jedan brid (ivica), ni jedan ugao (rogalj); ništa na kristalu nije slučajno i sve što na njemu zapažamo, sve je to, rekli smo često puta, odražaj njegove unutrašnje gradje ili strukture. Kakova je unutrašnja gradja kristala? To je pitanje moralo zanimati čovjeka od onoga časa, kad je naišao na kristalima na neke stalne pravilnosti, koje je morao smatrati posljedicom nečega nepoznatoga, nečega, što se krije u nutrini kristala, pa je pokušao na to pitanje odgovoriti. I prvi, koji je na to pitanje odgovorio upravo čudesnom oštromnošću, bio je francuski mineralog, opat *René Just Haüy*, osnivač kristalografije i teorije o strukturi kristala. On je već god. 1781., kad je otkrio zakon parametara (22), došao na misao, da geometrijska i fizička svojstva kristala dovede u vezu sa unutrašnjom gradjom kristala.

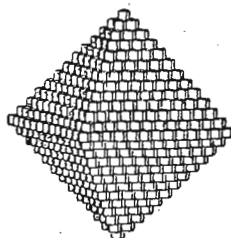
Po *Haüy*-evu shvaćanju kristali su građeni od vanredno sićušnih čestica, molekula; te molekule imaju izvjesnu formu, formu paralelepipeda, koji je u teseralnom sustavu prešao u kocku. Čestice takve paralelepipedske forme medju sobom su jednake, pa kada izgradjuju kristal, pravilno se redjaju jedna do druge i jedna površ druge stvarajući slojeve i dodirujući se medju sobom tako, da medju njima nema nikakova prostora; slažu se u redove onako nekako kao opeke pri zidanju zida. I od bezbroja tako složenih paralelepipedskih, a neizmjereno sićušnih čestica izraste kristal sa ravnim ploham, kojih se položaj pokorava zakonu parametara.

Svoju teoriju o strukturi kristala *Haüy* je ovako izveo: Uzmimo kristal kalcita  $\text{CaCO}_3$ , koje god forme; lakim udarcem možemo kalcitov kristal razbiti u sitnije komade, koji svi imaju jednaku formu, formu romboedra; kalcit se, velimo, kala (cijepa) u romboedre. Svaki taj iskalani romboedar možemo opet udarcem razbiti (iskalati) u sitnije komade i opet će svaki taj komadić imati formu romboedra. To kalanje (cijepanje) možemo nastaviti i kalotine kalcita, oni sitni romboedri, postepeno će se umanjivati zadržavajući staru formu romboedra. Lako možemo zamisliti to kalanje u beskonačnost, gdje će se kalcitov kristal raspasti u beskonačno sićušne čestice, koje će imati formu romboedra. Kalcit je dakle sastavljen od samih

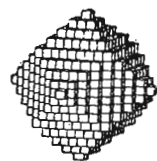
čestica, koje imaju formu romboedra; te čestice nazvao je *Haüy* „molekule sastavljačice“, *molécules intégrantes*<sup>1)</sup> i one, veli *Haüy*, sastavljaju gradju svih kristala; nemaju one uvijek formu romboedra, nego paralelepida, koji može da prijedje i u kocku. Pa kao što se je od bezbroja „molekula sastavljačica“, koje imaju formu romboedra, razvio kalcitov romboedar, tako će se od „molekula sastavljačica“, koje imaju formu kocke (heksaedra) razviti heksaedar na pr. heksaedar galenita  $PbS$ ; ali „molekule sastavljačice“ iste takve forme (kockaste) mogu sagraditi i kristal galenita, koji će imati formu ne heksaedra nego oktaedra ili kojega drugoga lika teseralnoga sustava. Po *Haüy*-evoj teoriji događa se to otpadanjem ili dekrescijom<sup>2)</sup> „molekula sastavljačica“ tako, da se na uglovima (rogljevima) i bridovima (ivicama) heksaedra pri rasteњу kristala slažu „molekule sastavljačice“ postepeno za jedan, dva, tri i t. d. niza manje; otpadanje tih nizova na uglovima i bridovima heksaedra može se vršiti i naizmjenice tako, da otpadnu dva, pa tri niza, ili dva, pa pet nizova i t. d. Brojevi tih redova, što pri rasteњу kristala uzastopce ili naizmjenice otpadaju, uvijek su, kao i koeficijenti  $mnp$  u parametarskome odnosu (22), racionalni. Ako se na taj način dekrescije (otpadanja) ima da razvije na pr. oktaedar, dakle lik sa osam, a ne sa šest ploha, razvijat će se dekrescija na uglovima (rogljevima) heksaedra (sl. 145.) tako, da će se svaki novi sloj „molekula sastavljačica“ razviti sa jednim nizom molekula manje negoli u predjašnjem sloju; na mjestu heksaedrovih uglova (rogljeva) izrasle su plohe oktaedra (sl. 146.). Kod raz-



Sl. 145.



Sl. 146.



Sl. 147.

vitka rompskoga dodekaedra dekrescija se vrši na bridovima (ivicama) heksaedra tako, da svaki novi sloj izraste sa jednim nizom „molekula“ manje; posljedica je takova rasteņa, da se na mjestu heksaedrovih bridova (ivica) razviju plohe i mjesto heksaedra došlo je tako do razvitka rompskoga dodekaedra (sl. 147.). Dakako da se zbog takve gradje mora galenit po *Haüy*-evu shvatanju, kalati u formi kocke, kako se doista i kala.

<sup>1)</sup> Od lat. *integrans*, sastavni.

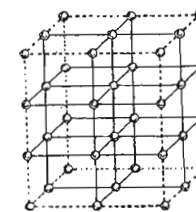
<sup>2)</sup> Od lat. *decréscere*, otpadati.

Likovi, koji nastaju dekrescijom, nemaju stepeničaste i hrapave plohe, kako se to na slikama zapaža, nego posve ravne i glatke radi toga, što su „molekule sastavljačice“, koje izgradjuju kristal, neizmjenno sićušne.

Na taj eto način objašnjavao je *Haüy* strukturu kristala, njihovu unutrašnju gradju, koja je uzrok svima geometrijskim i fizičkim pojavama u kristalima; njegova teorija uzdržala se do dana današnjega. Istina, nije ona ostala u svoj svojoj potpunosti, ona je tokom daljnega dugotrajnoga istraživanja i proučavanja doživjela nekih izmjena, ali je u biti svojoj ostala sačuvana i sve što se poslije radilo, nije ništa drugo nego samo preinačivanje dubokoumne *Haüy*-eve teorije, njeno usavršavanje.

*Haüy*-eva teorija morala je doživjeti neke izmjene već i zbog toga, što se njom nisu dale objasniti mnoge fizičke pojave u kristalima. *Haüy*-eve „molekule sastavljačice“, što sastavljaju kristal, tako se medju sobom dodiruju, da medju njima nema slobodna prostora. Ali fizika uči, da svaka čestica, od koje je sastavljena materija, mora imati prostora, u kom će se ona gibati, u kom će izvoditi titranja, koja uzrokuju na pr. svijetlo ili toplinu. Te i još neke druge pojave prisilile su drugoga velikoga francuskoga mineraloga *A. Bravais*-a, da preinači *Haüy*-evu teoriju tako, da shvatimo kristale kao gradjevinu presičušnih čestica, kemijskih molekula, ali te se molekule medju sobom ne dodiruju, one u prostoru, što ga zaprema kristal, slobodno lebde, a poredane su pravilno baš onako, kako je to *Haüy* zamislio.

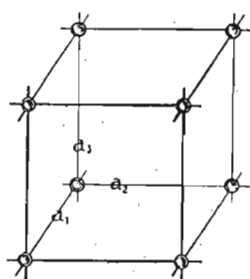
Dok je *Haüy* zamišljao kristalne molekule u izvjesnoj formi (u paralelepipedima), *Bravais* zamišlja te molekule bez ikakove određene forme, a možemo ih izvesti iz paralelepipedskih *Haüy*-evih čestica tako, da zamislimo u središtu svake paralelepipedske čestice jednu molekulu; ako pomislimo još, da smo toj čestici uklonili sav ostali dio, ostala je molekula sama lebdeći u prostoru. Na taj su način ostale molekule u kristalu svrstane u paralelne nizove nalazeći se u ravnoteži zbog privlačenja pojedinih čestica. Kristal je opet sastavljen od samih ravnina; u kojima se nalaze molekule tako poredane, da se svaka ravnina pričinja kao mreža, a debljina te ravnine nije deblja od svake pojedine molekule (sl. 148.). Bezbroj je takvih *mrežastih ravnina* u kristalu, one ispunjaju kristalov prostor; sve one zajedno tvore *molekularnu mrežu* ili *prostornu mrežu*.



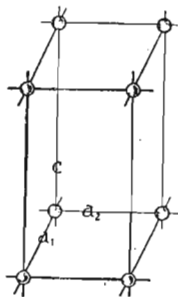
Sl. 148.

Kristalne plohe nisu ništa drugo nego mrežaste ravnine, a bridovi (ivice) kristala *molekularni pravci*, t. j. pravci, koji se mogu povući kroz više molekula. Molekularni pravci sastavljaju *elementarne paralelepipede*; kako ti pravci odgovaraju bridovima kristala, odgovaraju i kristalnim osima, jer osi možemo izvesti iz bridova (21). Slike 149—154, prikazuju elementarne paralelepipede teseralnoga (sl. 149.),

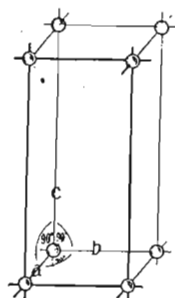
tetragonskoga (sl. 150.), heksagonskoga (sl. 152.), rompskoga (sl. 151.), monoklinskoga (sl. 153.), i triklinskoga sustava (sl. 154.). Što je u mrežastoj



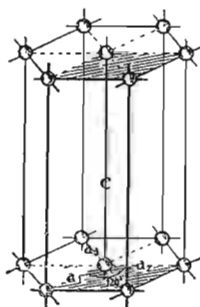
Sl. 149.



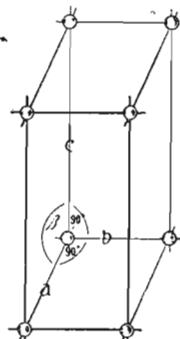
Sl. 150.



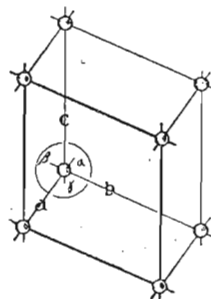
Sl. 151.



Sl. 152.



Sl. 153.



Sl. 154.

ravnini više molekula, što su one u njoj gušće poredane, mrežasta je ravnina udaljenija od svoje susjedne paralelne ravnine. Ovakove mrežaste ravnine, u kojima su se molekule u velikom broju na gusto zbile, jesu uvijek ravnine kalavosti (cjepljivosti) i one su obično paralelne sa baznim ili prizmatskim plohama, kako to možemo razabrati i na slici 148.

Bravais-ova teorija, koja je, kako smo vidjeli, preinačena Haüy-eva teorija, pretrpjela je nekih izmjena. Najviše su se bavili oko njena usavršavanja njemački mineralozi L. Shoncke i A. Schönflies i ruski mineralog E. S. Fedorov. Na osnovu njihovih radova shvaćamo danas strukturu kristala kao pravilan poredaj sićušnih čestica, koje izgradjuju kristal sačinjavajući t. zv. prostornu mrežu. Ali što su te čestice, molekule ili atomi? Na to pitanje moramo odgovoriti u skladu sa današnjim shvaćanjem fizike, po kome je materija sastavljena od atoma. Prema tome je prostorna mreža kristala atomska mreža; gradnja kristala sastavljena je od pravilnoga pore-

djaja atoma. Sami atomi sastavljeni su od teške jezgre, koja je električki pozitivna i od lakih elektrona, koji su električki negativni. Više atoma iste ili različite vrste mogu se već prema svojim osobinama spojiti u molekulu, pa takva molekula može biti sastavljena od vrlo različita broja atoma; ima molekula, koje su sastavljene od jednog jedinog atoma, ali ima i takovih, u kojima je više od 10.000 atoma.

Kazali smo, da se u amorfim tvarima nalaze molekule bez ikakva reda (14). Dok je tvar plinovita, gibaju se njene molekule nepravilno; svaka pojedina molekula leti u ravnoj crti, dok se ne sukobi s kojom drugom nastavljajući opet svoj put u ravnoj crti, ali u nekom drugom smjeru. Ako se molekulama dužina puta smanji ili zbog pritiska ili zbog ohladjivanja, prijeći će plinovita tvar u tekuću. Ohladjivanjem može se dužina puta molekulama tako smanjiti, da se njihovo međusobno trenje u toliko uveća, da tekuća tvar prijedje u čvrstu, na pr. u staklo.

Amorfne tvari mogu prijeći u kristalaste, čim se samo promijene prilike, koje su silile molekule, da budu među sobom bez ikakva reda. Neka se samo promijeni temperatura, a kadikad i tlak, koji su držali molekule u ravnoteži tako, da su se one gibale nezavisno jedna od druge, mahom će se molekule tako udružiti, da će stvoriti atomsku mrežu te će doći do pravilnoga poredjaja atoma. Taj prelaz neke tvari iz amornoga stanja u kristalizovano vrši se uvijek kod izvjesne temperature, izvjesna tlaka i izvjesne koncentracije; o temperaturi, tlaku i prirodi otopine zavisi način poredjaja atoma, jer temperatura, tlak, priroda otopine utiču na ravnotežu onih sila, s kojima atomi djeluju jedan na drugoga. Zato se jedna te ista tvar, na pr. ugljik C može da kristalizuje u više modifikacija: kod izvjesne temperature i tlaka poredat će se atomi ugljikovi tako, da će sačinjavati atomsku mrežu (prostornu mrežu), te će se čitav atomski sklop ugljikov pokazati u teseralnim kristalima sa svojstvima dijamanta; uz neku drugu temperaturu i tlak isti će se ti ugljikovi atomi poredati tako, da će sastaviti atomsku (prostornu) mrežu, koja će dati heksagonske kristale sa svojstvima grafita.

I tako se čovjek svojim umovanjem dovinuo velikoj tajni, što se krija u svijetu kristala; on je stvorio sliku o unutrašnjoj gradnji kristala, no da li je ta slika zaista takova, kako ju je čovjek zamislio? Da li je zbilja kristal sastavljen od bezbroja atoma, koji su se tako poredali, da tvore pomenutu atomsku (prostornu) mrežu? Mi danas možemo na ta pitanja odgovoriti jestno, mi možemo tu pravilnu gradju kristala učiniti vidljivom, možemo upoznati položaj atoma u kristalu, upoznati udaljenost jednoga atoma od drugoga. To saznanje imamo zahvaliti njemačkome fiziku M. Laue-u, koji je svojim pokusima pomoću Röntgenovih zraka dokazao ispravnost Haüy-Bravais-ove teorije, za koju su već Shoncke, Schönflies i Fedorov iznijeli matematičke dokaze.

*Laue* je nalazeći se u Münchenu proučavao svojstva Röntgenovih zraka želeći znati, da li te zrake imaju neke osobine, koje imaju i zrake običnoga svijetla. Zrake običnoga svijetla, koje prolaze uzanom pukotinom (ili uzanom mrežicom), ugibaju se od svoga pravocrtnoga širenja i tako dolazi do njihove interferencije (68), koja svijetlo ili pojačava ili slabi. Da li će tu istu osobinu imati i Röntgenove zrake, koje su 10.000 puta manje valovne dužine od valovnih dužina običnoga svijetla, koje naše oko vidi?

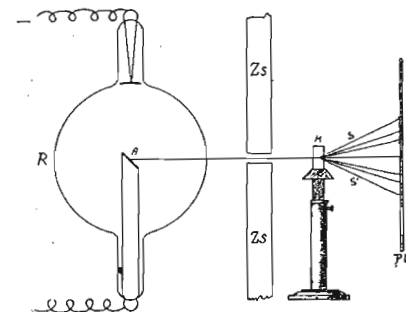
Dužina je vala  $\lambda$  na pr. žutoga svijetla po prilici  $\lambda = 5000 \text{ \AA}$ , ljubičastoga  $\lambda = 2000 \text{ \AA}$ , a Röntgenova  $\lambda = 0.1^{-20} \text{ \AA}$  ?<sup>1)</sup>

*Laue* je znao, da za zrake tako malih valovnih dužina treba imati i vrlo uske pukotine ili vrlo gustu mrežu, kroz koju bi Röntgenove zrake prolazile, da mogu doći do ugibanja, koje će uzrokovati interferenciju. No kako doći do tako uskih pukotina, do tako guste mreže? Tim pitanjem bavio se *Laue* i god. 1912. izmijenio je o tom svoje mišljenje sa fizikom *P. P. Ewaldom*. Ne bi li za to bili dobri kristali sa njihovom strukturom, sa njihovom atomskom ili prostornom dosta uskom mrežom, govorio je *Laue Ewaldu*. Ako zaista stoji teorija kristalografa o strukturi kristala, onda će baš ta atomska ili prostorna mreža biti najprikladnija, da djeluje na ugibanje Röntgenovih zraka, na stvaranje interferencije; treba samo pustiti, da Röntgenove zrake prodju kroz tu mrežu. Za prvi pokus uzeo je *Laue* modru galicu  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , koja se kristalizuje trikliniski u velikim kristalima, pa se od nje mogu lako dobiti oveci pravilni komadi. Pokus su vršili njegovi saradnici *W. Friedrich* i *P. Knipping*. Na fotografskoj ploči, koja se nalazila iza kristala, pokazala se očekivana slika kristalne mreže, slika unutrašnje gradje kristala; do ugibanja Röntgenovih zraka doista je došlo, došlo je do interferencije, koja je otkrila položaj atoma u kristalu. Kod daljega rada istraživali su röntgenoskopski *Friedrich* i *Knipping* kristale najvećega stupnja simetrije, kristale teseralnoga sustava, naročito kristale sfalerita  $\text{ZnS}$ , priredivši od njih pločice u izvjesnom kristalografskom smjeru, na pr. u smjeru paralelnom plohi heksaedra i plohi oktaedra. 8 juna 1912. predao je prof. *A. Sommerfeld* Akademiji Nauka u Münchenu zajedničku radnju *Friedricha*, *Knippinga* i *Laue-a* o interferenciji Röntgenovih zraka i od to doba istražuju se kristali pomoću Röntgenovih zraka, proučava se struktura materije i sve dublje zalazimo u čarobnu gradjevinu kristala, gdje vladaju tako velike tajne, gdje elektroni izvode gibanja oko svoje jezgre, kao što ih izvode planeti oko svoje jezgre, oko sunca. Nije svijet kristala

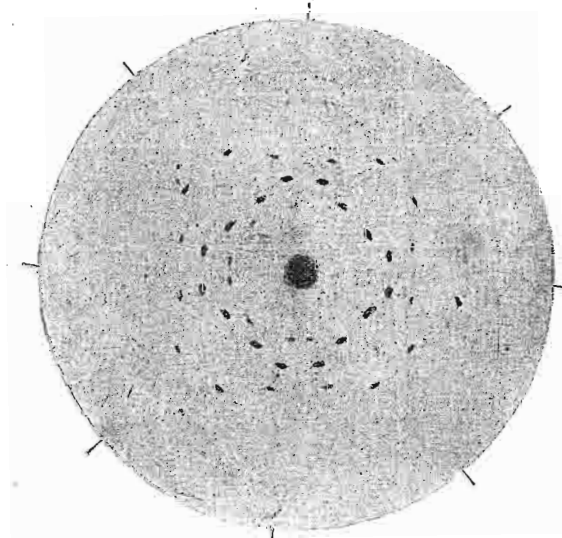
<sup>1)</sup> Jedinica za mjerenje valovnih dužina zove se po švedskom fiziku Ångströmu 1 Ångström (1 Å) =  $10^{-8}$  cm. Valovna dužina žutoga svijetla je  $\lambda = 0.5 \mu = 5.10^{-5}$  cm. = 5000 Å.

nešto ukočeno, mrtvo, nisu to puke geometrijske forme, to je svijet za sebe, svijet pun harmonije, u kome vladaju tako stalni zakoni, kao što vladaju u svoj vasioni. Röntgenoskopsko istraživanje strukture kristala postalo je danas važan predmet nauke, ono baca nove poglede u fizičke i kemijske osobine materije i danas postoji o tom istraživanju velika literatura.

Kod proučavanja interferencije Röntgenovih zraka ili kod proučavanja strukture kristala *Laue*-ovom metodom upotrebili su *W. Friedrich* i *P. Knipping* t. zv. bijelo Röntgenovo svijetlo, koje se dobiva iz Röntgenove cijevi *R* (sl. 155.). Od toga svijetla odlučuje se pomoću kružnoga zaslona *Zs* jedna zraka, koja prolazi kroz kružni zaslon, dopire do kristalne pločice *K* i u nju zalazi, gdje dolazi do interferencionih zraka *SS'*. Iz kristalne pločice izlaze tako uz primarnu zraku *P* i interferencionne zrake *SS'*, koje padaju na fotografsku ploču *Pl*. Kako je primarna zraka sastavljena od svih valovnih dužina „bijeloga“ Röntgenova svijetla, njezino je djelovanje na fotografsku ploču daleko jače od djelovanja pojedine interferencionne zrake, koja je svaka sastavljena samo



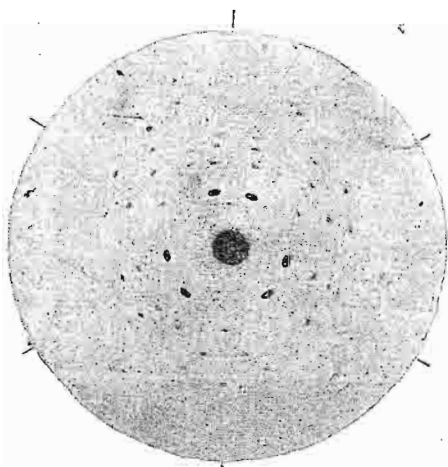
Sl. 155.



Sl. 156.

od jedne valovne dužine. Zbog toga će se pojaviti na fotografskoj ploči jaka centralna mrlja, a oko nje se pravilno redaju sitnije mrlje, kojih poredjaj odgovara unutrašnjoj gradnji kristala, što ga istražujemo.

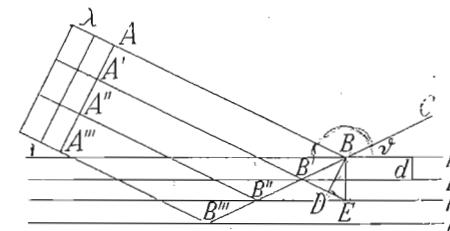
Slike 156., 157. prikazuju röntgenogram sfalerita, kako su ih dobili *Friedrich, Knipping* i *Laue* kod svoga prvoga istraživanja. Sfalerit se kristalizuje teseralno u tetraedrijskoj hemiedriji, U slici 156. röntgenogram sfaleritove pločice, koja je paralelna plohi heksaedra, pokazuje jasno 4 ravnine simetrije (2 paralelne plohi heksaedra, 2 paralelne plohi rompskoga dodekaedra); primarna mrlja odgovara tetragonskoj osi simetrije. Slika 157. prikazuje röntgenogram sfaleritove pločice, koja je paralelna plohi oktaedra; tu se vide 3 ravnine simetrije, a primarna mrlja odgovara trigonskoj osi simetrije. Pločice su bile debele 0,5 mm a udaljene od fotografske pločice 35 nm.



Sl. 157.

Ne dugo iza *Laue*-a (g. 1913.) objasnili su engleski fizici *W. H.* i *W. L. Bragg* (otac i sin) interferencione slike kao posljedicu „refleksije“ primarne zrake, koja se reflektira kad udari o koju mrežastu ravninu kristala. Kako znamo, kristal je sastavljen od bezbroja mrežastih ravnina, u kojima se nalaze atomi poredani sad gušće sad rjedje. Kod jednostavne prostorne mreže udaljenost je jedne mrežaste ravnine od druge jednaka. Neka budu u slici 158. mrežaste ravnine  $pppp$ , a njihova jednaka udaljenost  $d$ . Na te mrežaste ravnine pada svežanj Röntgenovih zraka  $AA'A''A'''$  pod kutom (uglom)  $\vartheta$  (kut ili ugao, što ga čine Röntgenove zrake sa mrežastom ravninom). Svaki atom u mrežastoj ravnini ishodište je elementarnoga vala. Kako se u mrežastim ravninama kristala nalazi bezbroj atoma, bit će oni

ishodište bezbroja elementarnih valova, ali do djelovanja na fotografskoj ploči doći će samo u onim smjerovima, gdje se elementarni valovi, koji dolaze sa pojedinih mrežastih ravnina, pojačavaju. Do tog će pojačavanja doći, ako se u istom smjeru sastanu elementarni valovi sa razlikom u fazama od  $n\lambda$  t. j. ako se sastanu u istom smjeru elementarni valovi, koji jedan za drugim zaostaju za cijele višekratnike valovnih dužina onih Röntgenovih zraka, koje padaju na mrežaste ravnine. Zrakom  $A$  dospjevši pod kutom (uglom)  $\vartheta$  u tačku  $B$ , reflektira se pod istim kutom (uglom) u smjeru  $BC$ ; isto se događa i sa zrakom  $A'$ , koja se od tačke  $B'$  reflektira u smjeru  $B'C$  tako, da se kod  $B$  sastaju dvije zrake te se u smjeru  $BC$  šire dva niza valova; jedan niz prevaljuje put  $ABC$ , a drugi  $A'B'C$ . Pošto obje zrake, koje se sastaju u  $C$ , imaju zajednički jednak komad puta  $BC$ ,



Sl. 158.

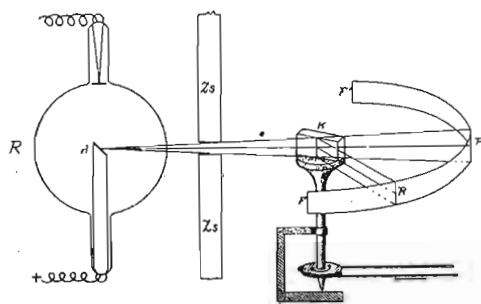
to je razlika puta  $A'B'B - AB$  jednaka razlici faza tih obih zraka. Ako pustimo na  $p$  okomicu  $BE$ , bit će  $BB' = B'E$ ; isto tako, ako pustimo okomicu  $BD$  na  $B'E$ , bit će  $A'D = AB$  prema tome je komad  $DE$  jednak razlici puta obih zraka, koje se šire smjerom  $BC$ . Veličina  $DE$  zavisna je o kutu (uglu)  $\vartheta$  i o udaljenosti  $d$ . U trokutu  $BDE$  vidimo, da je  $DE = B'E \cdot \sin \vartheta = 2d \sin \vartheta$ . Ako je komad  $DE$  (razlika u putu jedne i druge zrake u smjeru  $BC$ ) jednak  $\lambda$  (cijela valovna dužina Röntgenove zrake, što pada na mrežastu ravninu) ili cijelim višekratnicima valovne dužine  $n\lambda$ , doći će do pojačanja obih zraka, koje se šire u smjeru  $BC$ , dakle kada bude

$$2d \sin \vartheta = n\lambda \quad (n=1, 2, 3, \dots)^1)$$

Za istraživanje interferencije Röntgenovih zraka ili za istraživanje strukture kristala konstruirali su *W. H.* i *W. L. Bragg* poseban spektrometar, koji je osnovan na tom principu, da se pušta monohromatsko Röntgenovo svjetlo u jednom smjeru na kristal, koji se okreće. Da na kristal dodje što manje „bijeloga“ Röntgenovoga svjetla, upotrebili su Braggi Röntgenovu cijev  $R$  (sl. 159.) sa antikatomom  $A$  od paladija ili od rodija. Na stalku, koji se lagano okreće, pričvršćen je komadić kristala  $K$ . Kroz otvor

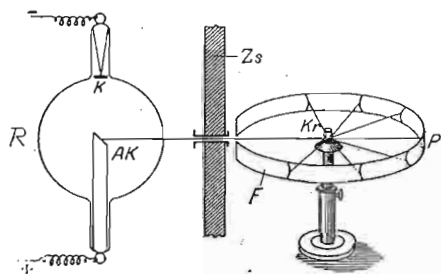
<sup>1)</sup> *G. Tschermak*: Lehrbuch der Mineralogie. Achte Auflage, pag. 275.

zaslona  $Zs$ , koji je paralelan okretnoj osi kristala, odvaja se od Röntgenovoga svijetla uzan svežnjić zraka, koje padaju na komad kristala  $K$ . Oko



Sl. 159.

okretne osi kristala postavljen je u krugu fotografski film  $F$ , na koji padaju dolazeći iz kristala primarne zrake  $P$  i reflektirane zrake  $R$  i ostavljaju na filmu mrlje, koje odgovaraju položaju atoma u kristalu.



Sl. 160.

Dok pri istraživanju strukture kristala metodom Laue-ovom i Bragg-ovom moramo imati oveći kristal, od koga se priredjuju prikladne pločice ili komadi, kroz koje će prolaziti Röntgenove zrake, našli su god. 1916. njemački fizičari *P. Debye* i *P. Scherrer*, a godinu dana kasnije, nezavisno od Debye-a i Scherrer-a, američki fizik *A. W. Hull* novu metodu, pomoću koje se može upotrebiti za istraživanje strukture kristala sitan kristalan prah. Aparat (sl. 160.) za istraživanje kristalnog praha jednak je Bragg-ovu aparatu, samo se kristalan prah, koji je na stalku, ne okreće.<sup>1)</sup>

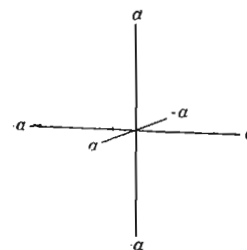
<sup>1)</sup> *P. P. Ewald*: Kristalle und Röntgenstrahlen. Berlin 1923.

### Kristalni sustavi.

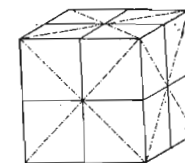
Velika većina minerala razvija se sa pravilnom unutrašnjom gradnjom. Ako je mineral za svoga razvitka imao dovoljno prostora, pravilna unutrašnja gradnja našla je svoj izražaj i u spoljašnjosti minerala: mineral se razvio u kristalima (7). U tim kristalima nailazimo na mnoge pravilnosti, koje nisu u svim kristalima jednake. Istaknuli smo na pr., kako se neki kristali odlikuju većim stupnjem simetrije, a neki manjim, pa su nam baš ta simetrijska svojstva poslužila, da svrstamo kristale u 32 razreda ili klase, gdje kristali svakoga razreda imaju svoj tačno određeni stupanj i vrstu simetrije (32). Dok su nam tako simetrijska svojstva poslužila, da svrstamo kristale u 32 razreda, dotle su kristalne osi poslužile, da sve kristale okupimo u 6 sustava tako, da se u jednom sustavu, koji ima izvjesne kristalne osi, okuplja više kristalnih razreda bez obzira na stupanj simetrije (32). Kristalni sustavi obuhvataju dakle različite forme kristala, koje imaju kao zajedničku osobinu jednake kristalne osi. Baveći se pojedinim kristalnim sustavom, mi ćemo se neprestano susretati s onim osobinama, o kojima smo do sada govorili tako, da ćemo svagdje samo primjenjivati svoje znanje, koje smo stekli upoznavajući se sa geometrijskim svojstvima kristala.

#### 37. Teseralni sustav; zovu ga još i regularnim i kubičnim sustavom.

Ovaj kristalni sustav obuhvata one kristalne forme, koje imaju tri jednako dugačke osi; one su jedna na drugoj okomite, a postavljamo ih tako, da jedna os bude vertikalna, druge dvije da su horizontalne te se jedna pruža od lijeva na desno, a druga je uperena prema posmatraču. Pošto su sve tri osi jednake dužine, dakle iste vrste, označujemo ih jednako i to slovom  $a$ ,  $a$ ,  $a$ , (sl. 161.), te je prema tome osni odnos teseralnoga sustava  $a:a:a$ ; osni su kutovi (uglovi)  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ .



Sl. 161.



Sl. 162.

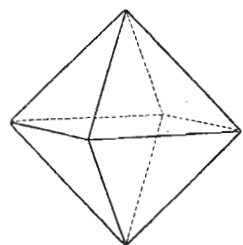
*I. Holoedrija* (1. kristalni razred). Isti stupanj simetrije, što ga ima osni krst teseralnoga sustava, imaju i holoedrijske forme toga sustava. Možemo to razmotriti na heksaedru (sl. 162.). Tu ćemo lako razabrati 9 ravnina simetrije  $9P$ ; 3 su medju sobom okomite i prolaze sredinom heksaedra

tako, da se podudaraju sa osnim ravninama, dakle su paralelne plohama heksaedra. Zovemo ih *glavnim ravninama simetrije PG*. Ostalih 6 ravnina simetrije sijeku se pod kutom (uglom) od  $120^\circ$  i prolaze kroz dva suprotna brida (ivice) heksaedrova; paralelne su dakle plohama rompskoga dodekaedra, a zovemo ih *sporednim ravninama simetrije PS*. Tih 9P možemo naći na svakoj holodrijskoj teseralnoj formi. Visoki stupanj simetrije ovih forma zapaža se i u osima simetrije; one imaju 13 osi simetrije 13 L i to 3 tetragonske osi simetrije  $3L^4$ , koje su okomite na plohe heksaedra (podudaraju se sa kristalnim osima), 4 trigonske osi simetrije  $4L^3$ , koje prolaze kroz dva suprotna ugla (roglja) heksaedrova (okomite su dakle na plohe oktaedra) i 6 digonskih osi simetrije  $6L^2$ , koje prolaze sredinom dvaju suprotnih heksaedrovih bridova (okomite su dakle na plohe rompskoga dodekaedra). Kako ove forme imaju i suprotne paralelne plohe, koje su istovrsne, imaju one i centar simetrije C.

Elementi simetrije u holodriji teseralnoga sustava jesu dakle:

$$3PG + 6PS, 3L^4 + 4L^3 + 6L^2 \text{ i } C.$$

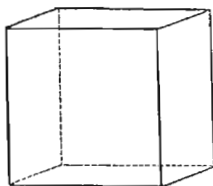
Kao u svim drugim sustavima, tako i u teseralnom, ima samo 7 vrsta kristalnih forma (30); te se forme razlikuju jedna od druge položajem svojih ploha spram kristalnih osi. Da se upoznamo s tim formama!



Sl. 163.

1. *Oktaedar* je lik, kome su plohe tako položene, da svaka od njih siječe sve tri osi u jednakoj udaljenosti (sl. 163.), dakle, gdje je osni odnos  $a:a:a$ . 9P osnoga krsta zahtijevaju, da tih ploha bude osam i da su sve istovrsne, pa je po broju ploha ime tome liku oktaedar<sup>1)</sup>. Plohe imaju formu istostraničnoga trokuta, te su prema tome trisimetrijske. Uz 8 ploha sastavljen je oktaedar od 6 uglova (rogljeva) i 12 bridova (ivica). U uglovima (rogljevima), gdje izlaze kristalne osi, sijeku se po četiri plohe i po četiri brida (ivice). Simbol mu je po Weissu ( $a:a:a$ ), po Naumannu O, a po Milleru {111}. Iz odnosa  $a:a:a$  vidimo, da je to osnovni lik, pa se prema tome dadu iz njega izvesti svi ostali likovi teseralnoga sustava. Od teseralnih minerala rado se pojavljuje u formi oktaedra magnetit.

2. *Heksaedar*<sup>2)</sup> je lik, kome su plohe tako položene, da je svaka od njih paralelna sa dvije osi, a na trećoj je okomita (sl. 164.); prema tome mu je parametarski odnos  $a:\infty a:\infty a$ . Uz takav položaj ploha za-



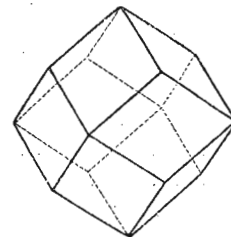
Sl. 164.

<sup>1)</sup> Od lat. *octo*, osam i grč. *hédra*, ploha.

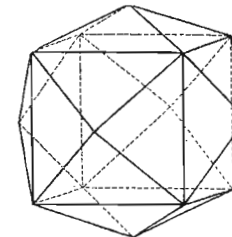
<sup>2)</sup> Od grč. *héks*, šest.

htijevaju 9P osnoga krsta, da se razvije lik sa šest ploha, koje se sijeku u 12 bridova (ivica) pod kutom (uglom) od  $90^\circ$ . U 8 heksaedrovih uglova (rogljeva) sijeku se po tri plohe i po tri brida. Kristalne osi prolaze sredinom ploha, koje su tetrasimetrijske. Simbol mu je po Weissu ( $a:\infty a:\infty a$ ), po Naumannu  $\infty O$ , po Milleru {100}. Ako pogledamo njegove parametre, vidjet ćemo, kako se taj lik da izvesti iz oktaedra na taj način, da plohe oktaedrove zauzmu položaj spram osi tako, da sijeku samo jednu os u udaljenosti 1, a sa druge dvije da su paralelne. Od minerala, koji se pojavljuju u formi heksaedra, spomenut ćemo fluorit.

3. *Rompski dodekaedar*<sup>1)</sup> je lik, u kom su plohe tako položene, da svaka od njih siječe dvije osi u jednakoj udaljenosti, a treću u neizmjenosti, t. j. sa trećom je paralelna (sl. 165.); parametarski mu je odnos dakle  $a:a:\infty a$ . 9P osnoga krsta zahtijevaju, da lik sa pomenutim osnim odnosom ima 12 ploha, koje imaju formu rombusa te su disimetrijske. Dok su oktaedar i heksaedar imali samo jednu vrstu uglova (rogljeva), rompski dodekaedar ima dvije vrste; jedna je vrsta sastavljena od 6 uglova, u kojima se sijeku po četiri plohe i po četiri brida; u tim uglovima izlaze kristalografske osi. Druga vrsta sastavljena je od 8 uglova, gdje se sastaju po tri plohe i po tri brida. Iz parametarskoga odnosa jasno se razabira, kako može nastati rompski dodekaedar iz oktaedra; treba da svaka od dodekaidrovih ploha zauzme paralelan položaj samo spram jedne osi, dok položaj ploha spram druge dvije osi ostaje nepromijenjen. Rompski dodekaedar može postati i na taj način, da se na bridovima heksaedra ili oktaedra pojave plohe, koje će te bridove jednolično otupljivati. Zbog toga i dolazi pol plohe rompskoga dodekaedra u stereografskoj projekciji u središte zone između dvije plohe heksaedra ili između dvije plohe oktaedra. Weissov mu je simbol ( $a:a:\infty a$ ), Naumannov  $\infty O$ , Millerov {110}. Od minerala



Sl. 165.



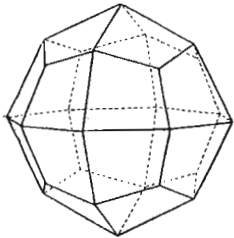
Sl. 166.

kristalizuje se u rompskom dodekaedru vrlo često granat, pa zbog toga zovemo taj lik i granatoedrom.

<sup>1)</sup> Od grč. *dódeka*, dvanaest.

4. *Tetrakisheksaedar*<sup>1)</sup> je lik, u kom su plohe tako položene, da svaka od njih siječe jednu os u udaljenosti 1, drugu u nekoj većoj udaljenosti, u udaljenosti  $m$ , a sa trećom je paralelna (sl. 166.); parametarski odnos mu je dakle  $a:ma:\infty a$ , gdje je dakako  $m$  racionalan broj i uvijek veći od 1, na pr.  $(a:2a:\infty a)$ ,  $(a:3a:\infty a)$  i t. d. 9P osnovna krsta zahtijevaju, da se lik takovoga parametarskog odnosa razvije sa 24 plohe. Plohe imaju formu istokračnoga trokuta, te su prema tome monosimetrične; osnovni brid tih ploha podudara se sa bridom heksaedra. Tetrakisheksaedar predstavlja kocku, gdje se na šest njezinih ploha diže četverostrana piramida; zato zovu tetrakisheksaedar i piramidskom kockom. Po četiri ovršna brida, koji su kraci istokračna trokuta, sijeku se u šest uglova; u tim uglovima izlaze kristalne osi. Po tri osnovna brida, koji sastavljaju bazu istokračnoga trokuta, i po tri ovršna brida, koji su kraci istokračnoga trokuta, sijeku se u osam uglova (rogljeva). Iz parametarskoga odnosa vidi se, da tetrakisheksaedara može takodjer biti neograničeni broj. Ako bude  $m=1$ , prijeći će tetrakisheksaedar u rompski dodekaedar  $(a:a:\infty a)$ ; bude li  $m=\infty$ , prijeći će tetrakisheksaedar u heksaedar  $(a:\infty a:\infty a)$ . Između heksaedra i rompskoga dodekaedra, kao krajnjih članova, nalazi se čitav niz tetrakisheksaedara. Znak im je po Weissu  $(a:ma:\infty a)$ , po Naumannu  $\infty Om$ , a po Milleru  $\{kh0\}$ , gdje je  $k < h$ , na pr.  $\{120\}$ . Od minerala, koji se kristalizuju u tetrakisheksaedrima, spomenut ćemo elementarni bakar.

5. *Deltoidski ikozitetraedar*<sup>2)</sup> je lik, u kome su plohe tako položene, da svaka od njih siječe jednu os u udaljenosti 1, a druge dvije u udaljenosti  $m$  (sl. 167.). Prema tome je odnos parametara toga lika  $a:ma:ma$ , gdje je koeficijent  $m$  jednak racionalnom, obično malom broju, na pr.  $(a:2a:2a)$ ,  $(a:3a:3a)$  i t. d. 9P osnovna krsta teseralnoga sustava zahtijevaju, da lik sa pomenutim osnim odnosom ima 24 plohe; plohe su monosimetrijski deltoidi, t. j. sastavljene su od po dva kraka tu-



Sl. 167.

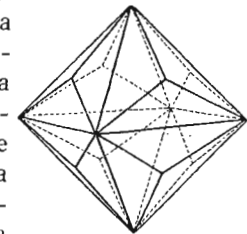
poga i šiljatoga grčkoga slova delte  $\Delta$ ; raspolovnicu obih delta čini jedan zajednički pravac. Lik taj predstavlja oktaedar, gdje se na svakoj od njegovih ploha nalaze 3 deltoida. Na svakom simetrijskom deltoidskom ikozitetraedru dvije su vrste bridova i tri vrste uglova (rogljeva); po četiri među sobom jednaka brida sijeku se u šest uglova (rogljeva), u kojima izlaze i kristalne osi; po tri među sobom jednaka brida sijeku se u osam uglova (rogljeva); zatim po dva brida prve vrste i po dva druge vrste sijeku se u dvanaest uglova. Iz parametarskoga odnosa ovoga lika vidimo, da je broj deltoidskih

1) Od grč. *tetrákis*, četiri puta i *hēks*, šest.

2) Od grč. *eikosí*, dvadeset i *tétra*, četiri.

ikozitetraedara neograničen, jer je koeficijent  $m > 1$ ; ako  $m$  raste sve više, postajat će ikozitetraedar sve šiljatiji, pa kad bude  $m=\infty$ , prijeći će ikozitetraedar u heksaedar  $(a:\infty a:\infty a)$ ; bude li  $m$  postajao sve manji, postajat će i ikozitetraedar sve tuplji, pa kad bude  $m=1$ , prijeći će ikozitetraedar u oktaedar. Dok je dakle broj deltoidskih ikozitetraedara neograničen, to je broj oktaedara i heksaedara ograničen, t. j. može da bude samo jedan oktaedar i samo jedan heksaedar, a između njih kao krajnjih članova leži niz deltoidskih ikozitetraedara. Weiss daje općeniti znak tome liku  $(a:ma:ma)$ , Naumann  $mOm$ , a Miller  $\{kkh\}$  gdje je  $k < h$ , na pr.  $\{112\}$ . Millerovi su simboli (indeksi), kako znamo, recipročne vrijednosti Weissovih koeficijenata (23); prema tome Weissov simbol  $(2a:2a:a)$ ,  $(3a:3a:a)$  it.d. jednak je Millerovu znaku  $\{112\}$ ,  $\{113\}$  it.d. Od minerala, koji izrastu u formama deltoidskoga ikozitetraedra, spomenut ćemo vrlo lijepe kristale analcima.

6. *Trijakisoktaedar*<sup>1)</sup> je lik, u kome su plohe tako položene, da svaka od njih siječe dvije osi u udaljenosti 1, a treću u većoj udaljenosti, u udaljenosti  $m$  (sl. 168.); prema tome je odnos parametara toga lika  $a:a:ma$ , gdje je opet koeficijent  $m$  jednak racionalnom, obično malom broju, na pr.  $(a:a:2a)$ ,  $(a:a:3a)$  i t. d. 9P osnovna krsta zahtijevaju, da lik takovoga parametarskoga odnosa ima 24 plohe. Plohe imaju formu istokračnoga trokuta, te su monosimetrične. Trijakisoktaedar predstavlja oktaedar, gdje se na svakoj od njegovih ploha diže trostrana pira-



Sl. 168.

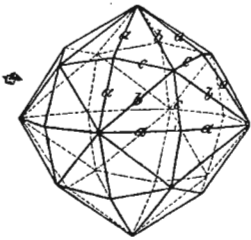
mida; zato ga zovemo i piramidskim oktaedrom. Na trijakisoktaedru imamo dvije vrste bridova; 12 bridova sačinjavaju osnovne bridove istokračnih trokuta i podudara ju se sa bridovima oktaedra; 24 brida sačinjavaju krake istokračnih trokuta. Po 4 brida prve vrste i po 4 brida druge vrste sijeku se u 6 uglova (rogljeva), gdje izlaze i kristalne osi. Iz parametarskoga odnosa vidimo, da je i broj trijakisoktaedara neograničen, jer je koeficijent  $m > 1$ . Lako možemo razabrati, što će se dogoditi, ako  $m$  bude postajao sve veći ili sve manji. U prvom slučaju razvijat će se sve šiljatiji, a u drugom slučaju sve tuplji trijakisoktaedar, pa kad bude  $m=\infty$ , prijeći će trijakisoktaedar u rompski dodekaedar  $(a:a:\infty a)$ ; kad bude  $m=1$ , prijeći će trijakisoktaedar u oktaedar  $(a:a:a)$ . Slijedi dakle, kao što može biti samo jedan oktaedar i samo jedan heksaedar, tako može biti samo jedan rompski dodekaedar; između rompskoga dodekaedra i oktaedra, kao krajnjih članova, nalazi se čitav niz trijakisoktaedara. Znak im je po Weissu  $(a:a:ma)$ , po Naumannu  $mO$ , po Milleru  $\{hkh\}$  gdje je  $k < h$  na pr. (221). Među mineralima

1) Od grč. *triákis*, triput i lat. *ócto*, osam.



dolazi vrlo rijetko sam za sebe, nego većinom u kombinacijama sa ostalim holoedrima teseralnoga sustava.

7. *Heksakisoktaedar*<sup>1)</sup> je lik, u kome su plohe tako položene, da svaka od njih siječe jednu os u udaljenosti 1, a druge dvije svaku u nekoj drugoj udaljenosti, u udaljenosti m i n (sl. 169.); prema tome mu je osni odnos ( $a:ma:na$ ), gdje su koeficijenti m i n racionalni brojevi i veći od 1, na pr. ( $a:2a:3a$ ), ( $a:\frac{3}{2}a:3a$ ) i t. d. 9P osnovna krsta zahtijevaju, da lik tak-



Sl. 169.

voga parametarskoga odnosa ima 48 ploha; plohe imaju formu raznostranična trokuta, te su asimetrijske. Lik taj predstavlja oktaedar, gdje se na svakoj od njegovih ploha diže šestorostrana piramida. Bridovi su se razvili u tri vrste: kao najduži, srednji i najkraći. U 6 uglova sijeku se po 4 najdulja i po 4 srednja brida; u tim uglovima izlaze kristalne osi. U 8 uglova sijeku se po 3 najduža i po 3 najkraća brida. U 12 uglova sijeku se po 2 srednja i po 2 najkraća brida. Simbol je heksakisoktaedra po Weissu ( $a:ma:na$ ), po Naumannu  $mOn$ , po Milleru  $\{hkl\}$  gdje je  $k < h < l$ , na pr.  $\{123\}$ . Broj je ove kristalne forme neograničen, a iz parametarskoga odnosa lako ćemo razabrati, kako ona može prijeći u druge forme teseralnoga sustava; ako bude

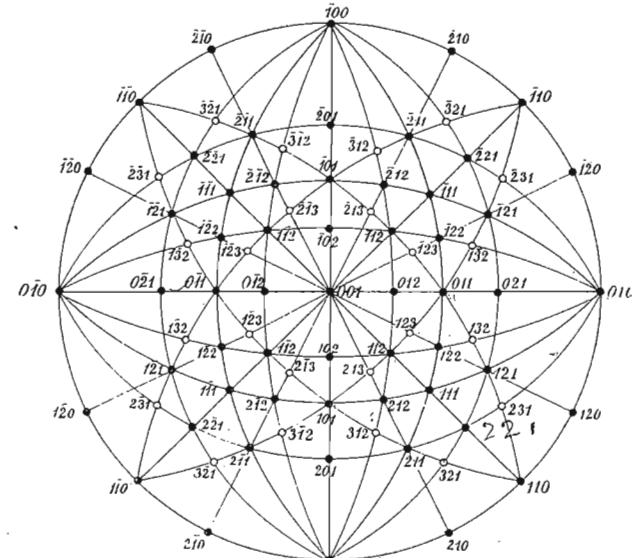
$n$ i $m = 1$ ,	prijeći će heksakisoktaedar u oktaedar ( $a:a:a$ ),
$n$ i $m = \infty$ ,	„ „ „ „ heksaedar ( $a:\infty a:\infty a$ ),
$n = m$ ,	„ „ „ „ ikozitetraedar ( $a:ma:ma$ ),
$n = 1$ ,	„ „ „ „ trijakisoktaedar ( $a:ma:a$ ),
$n = \infty$ ,	„ „ „ „ tetrakisheksaedar ( $a:ma:\infty a$ ),
$n = \infty; a$ i $m = 1$ ,	„ „ „ „ rompski dodekaedar ( $a:a:\infty a$ ).

Sve se te forme daju izvesti jedna iz druge, svaka je od njih zapravo tek zasebna modifikacija heksakisoktaedra. Iz stereografske projekcije (sl. 170.) vrlo se lijepo razabira međusoban položaj ovih 7 vrsta kristalnih forma teseralnoga sustava i njihov međusoban odnos, koji se također vidi i na triangularnoj slici 171.

Teseralan kristal projicirat ćemo tako, da uzmemo heksaedrovu plohu kao projekcionu ravninu. U tom će slučaju u središte glavnoga kruga dospjeti pol plohe (001), a na mjestima, gdje horizontalni i vertikalni promjer kruga, (koji odgovaraju kristalnim osima ili najvećim krugovima na kugli ili glavnim ravninama simetrije ili zonama) siječe glavni krug, polovi ploha (100), (010), ( $\bar{1}00$ ), ( $0\bar{1}0$ ); svi su ti polovi udaljeni jedan od drugoga za  $90^\circ$ , što odgovara veličini heksaedrijskoga kuta. Iza heksaedra projici-

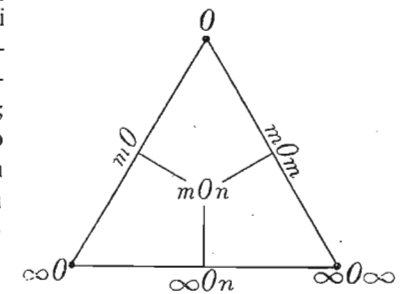
<sup>1)</sup> Od grč. *heksákis*, šest puta.

ramo plohe rompskoga dodekaedra; polovi ploha (110), ( $\bar{1}\bar{1}0$ ), ( $\bar{1}10$ ), ( $1\bar{1}0$ ) dolaze na glavni krug tačno u sredinu između heksaedrovih polova, jer plohe rompskoga dodekaedra jednolično otupljuju bridove heksaedra tako,



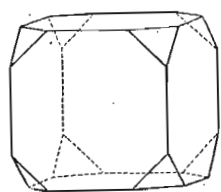
Sl. 170.

da im normale raspolavljaju kut između dvije osi. Polovi ploha (101), ( $\bar{1}01$ ), (011), ( $0\bar{1}1$ ) leže u zonama [001, 100] i [001, 010]. Da nadjemo mjesto pola dodekaedrijske plohe u pravoj udaljenosti od (001), treba spojiti pravcem polove (100) i ( $\bar{1}10$ ); gdje taj pravac siječe horizontalni promjer, nalazi se pol plohe (011). Položaj pola oktaedrove plohe (111), naći ćemo iz presjecišta onih zona, u kojima ta ploha leži; a te su zone [100, 011] i [010, 101]. Ako konstruiramo te zone i druge, koje njima odgovaraju, dobit ćemo presjecišta, koja odgovaraju položaju oktaedrijskih polova, a iz tih zona došli smo i do polova ostalih forma teseralnoga sustava.

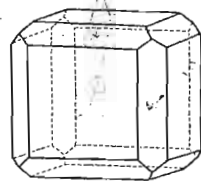


Sl. 171.

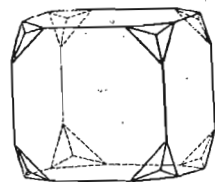
Najčešće se pri kristalizaciji razvijaju kombinacije, od kojih vidimo neke na sl. 172.—180.



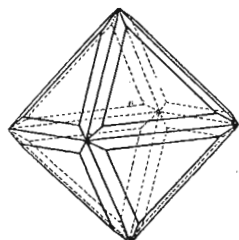
{100} {111}  
Sl. 172.



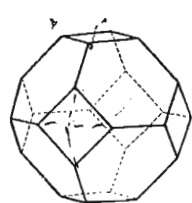
{100} {110}  
Sl. 173.



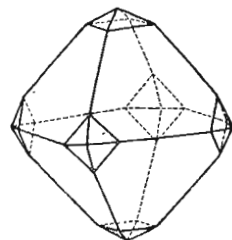
{100} {112}  
Sl. 174.



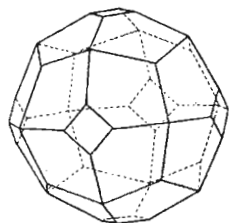
{111} {221}  
Sl. 175.



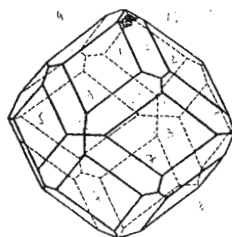
{111} {100}  
Sl. 176.



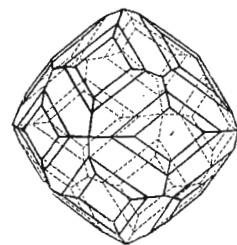
{111} {112}  
Sl. 177.



{112} {100}  
Sl. 178.



{110} {112}  
Sl. 179.



{110} {211} {321}  
Sl. 180.

**38. Hemiedrije teseralnoga sustava.** Gubitkom nekih elemenata simetrije raspadaju se teseralni holoedri u hemiedre. Po načinu gubitka tih elemenata postaju od holoedara tri vrste hemiedrije, tetraedrijska, pentagonska i plagiedrijska ili giroedrijska hemiedrija.

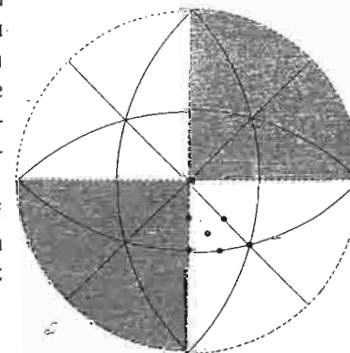
*II. Tetraedrijska hemiedrija* (2. kristalni razred.) Ova hemiedrija postaje iz holoedrije tako, da se izgube 3 glavne ravnine simetrije; posljedica takvoga gubitka simetrija jest gubitak 6 osi simetrije i gubitak centra simetrije. Prema tome forme tetraedrijske hemiedrije imaju ovaj stupanj simetrije:  $6PS$ ,  $7L$  i to  $3L^2 + 4L^3$ ; kristalne osi podudaraju se sa  $3L^2$ .

Likovi, koji leže na ravninama simetrije, koje se gube, ne raspadaju se u nove likove (sl. 181.). Iz stereografske projekcije lako ćemo razabrati,

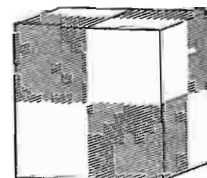
da su takvi likovi heksaedar, rompski dodekaedar i tetrakisheksaedar; oni su geometrijski posvema jednaki holoedriji, ali su zato kristalografski potpuni hemiedri, o čemu se možemo osvjedočiti na pr. pomoću izjedina (66). Ostali likovi, budući da ne leže na ravninama simetrije, koje se gube, raspadaju se u po dva korelatna lika, u pozitivan i negativan lik, koji se međusobom razlikuju samo svojim položajem prema kristalnim osima (33) t. j. jedan je spram drugoga zaokrenut za  $90^\circ$ ; od holoedra razlikuju se ne samo po svojim fizičkim osobinama nego i geometrijski.

Da heksaedar, rompski dodekaedar i tetrakisheksaedar ne mogu dati novih likova pri gubitku  $3PG$ , razabira se takodjer iz slike 182., 183., 184.

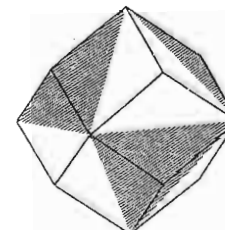
*1. Tetraedar.* Iz oktaedra (sl. 186.) postaju raspadanjem dva korelatna tetraedra (sl. 185., 186.), pozitivan  $\{111\}$ , negativan  $\{1\bar{1}1\}$ .



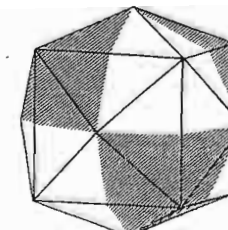
Sl. 181.



Sl. 182.

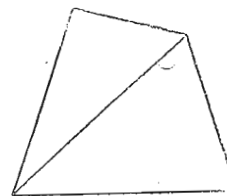


Sl. 183.

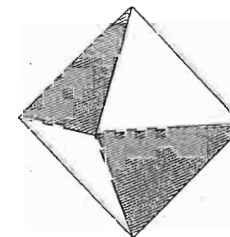


Sl. 184.

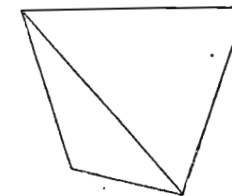
Tetraedar je sastavljen od 4 trisimetrijske plohe, koje su potpuno jednake plohami oktaedra; one se sijeku u 6 bridova, kroz koje prolaze ravnine simetrije.  $4L^3$



Sl. 185.



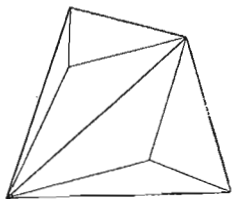
Sl. 186.



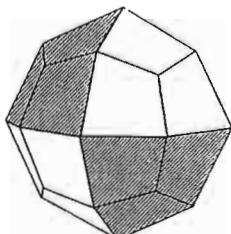
Sl. 187.

prolaze kroz uglove (rogljeve) tetraedra i padaju okomito na suprotnu plohu;  $3L^2$  prolaze sredinom tetraedrovih bridova i s njima se podudaraju kristalne osi.

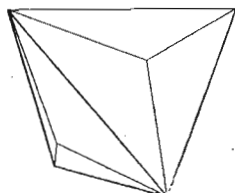
2. *Trijakistetraedar*. Iz deltoidskog ikozitetraedra (sl. 189.) postaju raspadanjem dva korelatna trijakistetraedra (sl. 188., 190.), pozitivan {k $\bar{k}h$ } i negativan {k $\bar{k}h$ }.



Sl. 188.



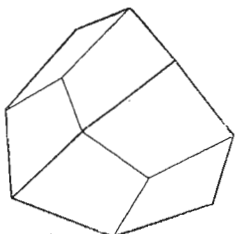
Sl. 189.



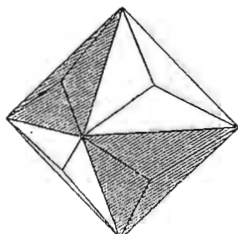
Sl. 190.

Trijakistetraedar sastavljen je od 12 monosimetrijskih ploha forme trijakisoktaedra tako, da podsjeća na tetraedar, na plohamu kojega stoji trostrana piramida, pa ga zovemo zato i piramidskim tetraedrom. Bridovi su mu od dvije vrste: jednu vrstu sačinjavaju 6 bridova, koji su osnovni bridovi istokračnoga trokuta i podudaraju se sa bridovima tetraedra; kroz njih prolaze ravnine simetrije i  $3L^2$ , s kojima se podudaraju kristalne osi; drugu vrstu sačinjavaju 12 bridova, koji su kraci istokračnoga trokuta i sastaju se u 4 ugla (roglja), kroz koje prolaze  $4L^3$ ; te  $4L^3$  izlaze na druga 4 suprotna ugla, gdje se sijeku po 3 osnovna brida i po 3 kraka istokračnoga trokuta.

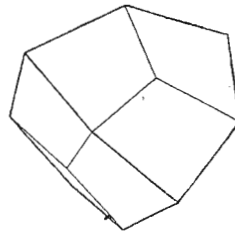
3. *Deltoidski dodekaedar*. Iz trijakisoktaedra (sl. 192.) postaju raspadanjem dva korelatna deltoidska dodekaedra (sl. 191., 193.), pozitivan {h $\bar{h}k$ } i negativan {h $\bar{h}k$ }.



Sl. 191.



Sl. 192.



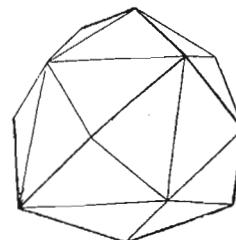
Sl. 193.

Deltoidski dodekaedar sastavljen je od 12 monosimetrijskih ploha deltoidske forme, koje se sijeku u 24 brida i 14 uglova (rogljeva). Bridovi su od dvije vrste,  $12 + 12$ , a uglovi (rogljevi) od tri vrste  $6 + 4 + 4$ . U prvoj vrsti od 6 uglova (rogljeva) sastaju se  $2 + 2$  brida, kroz koje prolaze ravnine simetrije; kroz tu vrstu uglova prolaze i  $3L^2$ , s kojima se podudaraju kristalne osi. Kroz drugu vrstu uglova (rogljeva), gdje se sastaju 3 brida i treću vrstu, gdje se sastaju 4 brida, prolaze  $4L^3$ .

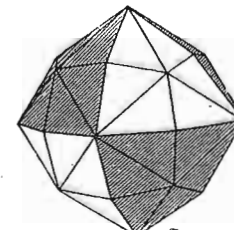
4. *Heksakistetraedar*. Iz heksakisoktaedra (sl. 195.) postaju raspadanjem dva korelatna heksakistetraedra (sl. 194., 196.), pozitivan {h $\bar{k}l$ } i negativan {h $\bar{k}l$ }.

Tetrakisheksaedar sastavljen je od 24 plohe, koje su potpuno jednake plohamu heksakisoktaedra; one se sijeku u 36 bridova i 14 uglova (rogljeva). Bridovi su od tri

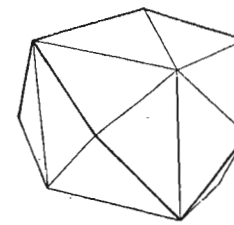
vrste: 12 najdužih + 12 srednjih + 12 najkraćih; isto su i uglovi od tri vrste:  $6 + 4 + 4$ . U 6 uglova sijeku se 2 srednja + 2 najkraća brida; kroz te uglove prolaze ravnine simetrije i  $3L^2$ . U 4 ugla sijeku se 3 najduža + 3 najkraća brida, a u druga 4 ugla sijeku se 3 najduža + 3 srednja brida; kroz te dvije vrste uglova prolaze  $4L^3$ .



Sl. 194.



Sl. 195.



Sl. 196.

Naumann označuje forme tetraedrijske hemiedrije tako, da podijeli simbol holoedra sa 2, pa se iz znaka razabira, da su to polulici holoedra; tetraedar =  $\pm \frac{O}{2}$ , trijakistetraedar =  $\pm \frac{mOm}{2}$ , deltoidski dodekaedar =  $\pm \frac{mO}{2}$

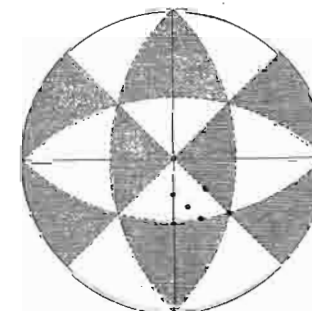
heksakistetraedar =  $\pm \frac{mOn}{2}$ .

Kad se koji lik tetraedrijske hemiedrije pojavljuje u kombinacijama, može se pojaviti samo u društvu drugih likova ove hemiedrije (24). Nadjemo li gdje među kombinacijama ovoga hemiedrijskoga razreda na pr. oktaedar, onda je to pseudooktaedar, jer je kombinacija dvaju tetraedara, pozitivnoga i negativnoga. Isto tako mogu se među hemiedrima u kombinaciji ovoga kristalnoga razreda pojaviti heksaedar, rompski dodekaedar i tetrakisheksaedar, ali i oni su pseudoholoedri, jer pokazuju sva fizička svojstva hemiedara.

Od minerala kristalizuju se u tetraedrijskoj hemiedriji na pr. sfalerit, tetraedrit i t. d.

III. *Pentagonska hemiedrija* (3. kristalni razred). Ova hemiedrija postaje iz holoedrije tako, da se izgube 6 sporednih ravnina simetrije. Posljedica je toga gubitka još i gubitak 6 osi simetrije, dok centar simetrije ostaje. Prema tome forme pentagonske hemiedrije imaju ovaj stupanj simetrije:  $3PG$ ,  $7L$  i to  $4L^3 + 3L^2$ ,  $C$ ; kristalne osi podudaraju se sa  $3L^2$ .

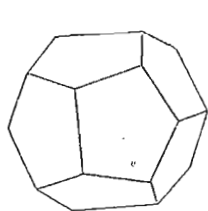
Iz stereografske projekcije (sl. 197.) razabiramo, da se u ovoj hemiedriji mogu raspasti u nove likove samo tetrakisheksaedar i heksakisoktaedar,



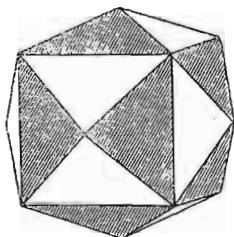
Sl. 197.

jer ne leže u ravninama simetrije, koje se gube. Svi drugi likovi ostaju geometrijski nepromijenjeni, ali su dakako kristalografski potpuni hemiedri sa stupnjem simetrije ovoga kristalnoga razreda.

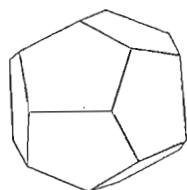
1. *Pentagonski dodekaedar*. Tetrakisheksaedar (sl. 199.) raspada se gubitkom  $6PS + 6L$  u dva korelatna pentagonska dodekaedra (sl. 198., 200.), pozitivan  $\{hk0\}$  i negativan  $\{k0\}$ , koji se razlikuju medju sobom samo svojim položajem spram kristalnih osi; jedan je spram drugoga zaokrenut za  $90^\circ$ .



Sl. 198.



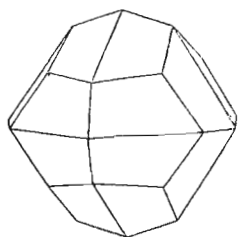
Sl. 199.



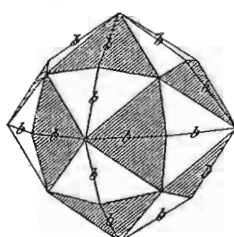
Sl. 200.

Pentagonski dodekaedar sastavljen je od 12 monosimetrijskih ploha, koje imaju formu pentagona, u kome su od 5 stranica 4 medju sobom jednake.<sup>1)</sup> Plohe se sijeku u 30 bridova i 20 uglova (rogljeva). Bridovi su od dvije vrste,  $24 + 6$ , a isto tako i uglovi (rogljevi),  $12 + 8$ . Kroz 6 bridova, koji odgovaraju nejednakoj stranici, prolaze ravnine simetrije, a sredinom i  $3L^2$ , s kojima se podudaraju kristalne osi. U 12 uglova (rogljeva) sijeku se po 3 brida, od kojih 2 odgovaraju jednakim stranicama pentagona, a 1 nejednakoj stranici. U 8 uglova sijeku se po 3 brida, koji odgovaraju jednakim stranicama pentagona; kroz te uglove prolaze  $4L^3$ .

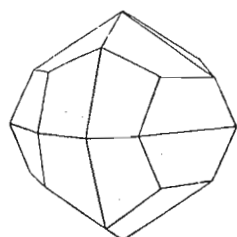
2. *Dijakisdodekaedar*. Heksakisoktaedar (sl. 202.) raspada se gubitkom  $6PS + 6L$  u dva korelatna dijakisdodekaedra (sl. 201., 203.), pozitivan  $\{hkl\}$  i negativan  $\{khl\}$ , koji se razlikuju samo svojim položajem spram kristalnih osi; jedan je spram drugoga zaokrenut za  $90^\circ$ .



Sl. 201.



Sl. 202.



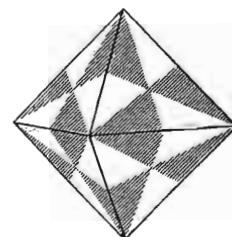
Sl. 203.

<sup>1)</sup> Pentagonski dodekaedar sa istostraničnim pentagonima nije moguć medju kristalima, jer se protivi zakonu parametara (22); njegovi su naime indeksi  $hk$  iracionalni

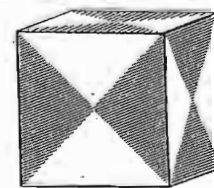
$$t. j. \frac{h}{k} = \frac{3 \pm \sqrt{5}}{2}$$

Dijakisdodekaedar sastavljen je od 24 asimetrijske plohe forme trapeza. Plohe se sijeku u 48 bridova i 26 uglova (rogljeva). Bridovi su trovrtni,  $12 + 12 + 24$ , a isto tako i uglovi (rogljevi)  $6 + 8 + 14$ . U 6 uglova (rogljeva) sastaju se 2 najduža i 2 najkraća brida; kroz te uglove prolaze ravnine simetrije i  $3L^2$ , s kojima se podudaraju kristalne osi. U 8 uglova sastaju se 3 jednaka brida i kroz te uglove prolaze  $4L^3$ . U 12 uglova sastaju se 4 brida 1 najkraći, 1 najdulji i 2 jednaka.

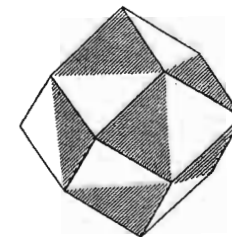
Slike 204.—208. prikazuju, kako u ovoj hemiedriji ostaje geometrijski nepromijenjen oktaedar, heksaedar, rompski dodekaedar, trijakisoktaedar i deltoidski ikozitetaedar.



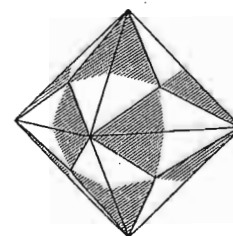
Sl. 204.



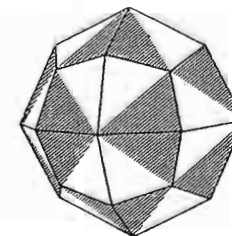
Sl. 205.



Sl. 206.



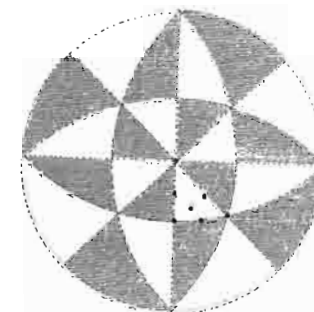
Sl. 267.



Sl. 208.

Kad se forme ovoga kristalnoga razreda pojavljuju u kombinacijama, pojavljuju se samo sa formama istoga stupnja simetrije. Ako se na pr. uz pentagonski dodekaedar i dijakisdodekaedar pojave na kristalu forme heksaedra, oktaedra, rompskoga dodekaedra, deltoidskoga ikozitetaedra ili trijakisoktaedra, nisu one uprkos svojoj geometrijskoj formi holodri, nego potpuni fizički hemiedri, što se često puta vrlo lijepo opaža na heksaedrima piritu, koji se kristalizuje u pentagonskoj hemiedriji; plohe piritova heksaedra prutane su tako, da su disimetrijske a ne tetrasimetrijske.

Od minerala, koji se kristalizuju u ovom kristalnom razredu, spomenut ćemo pirit, pa se po njemu zove ova hemiedrija i piritodrijska, a pentagonski dodekaedar piritodedar.

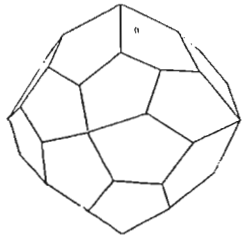


Sl. 209.

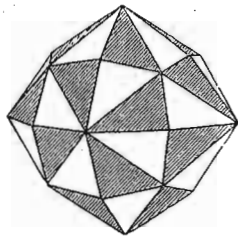
IV. *Plagiedrijska ili giroedrijska hemiedrija* (4. kristalni razred). Ova hemiedrija postaje iz holloedrije tako, da se izgube sve ravnine simetrije, što ima za posljedicu i gubitak centra simetrije. Forme ovoga kristalnoga razreda imaju dakle samo 13 L i to  $3L^4 + 4L^3 + 6L^2$ , te su prema tome enantiomorfne (33).

Iz stereografske projekcije (sl. 209.) vidi se, da nove forme može dati samo heksakisoktaedar, dok drugi likovi, budući da leže na ravninama simetrije, koje se gube, ostaju geometrijski nepromijenjeni, ali se dakako i oni odlikuju kristalografskom hemiedrijom.

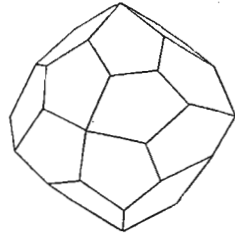
1. *Pentagonski ikozitetaedar ili giroedar*<sup>1)</sup>. Heksakisoktaedar (sl. 211.) gubitkom svih P i C raspada se u dva korelatna pentagonska ikozitetaedra ili giroedra (sl. 210., 212.) u lijevi {hkl} i desni {khl}.



Sl. 210.



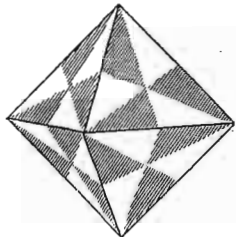
Sl. 211.



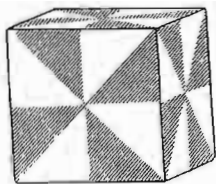
Sl. 212.

Pentagonski ikozitetaedar sastavljen je od 24 asimetrijske plohe, koje imaju formu raznostranična pentagona. U 6 uglova, gdje se sastaju 4 brida, izlaze kristalne osi i  $3L^4$ . U 8 uglova, gdje se sastaju tri brida, izlaze  $4L^3$ , a u 12 uglova, gdje se sastaju 3 brida, izlaze  $6L^2$ . Oba korelatna polulika, budući da nemaju ni jedne P ni C, ne mogu se nikakvim okretanjem dovesti u položaj, gdje bi se njihove plohe, bridovi i uglovi (rogljevi) pokrivali; oni su samo zrcalno jednaki, kao što je primjerice desna ruka jednaka lijevoj, pa ih zato i zovemo desnim i lijevim giroedrom ili pentagonskim ikozitetaedrom.

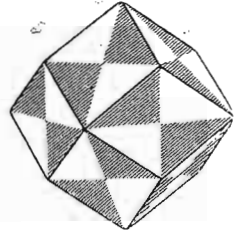
Slike 213.—218. prikazuju, kako oktaedar, heksaedar, rompski dodekaedar, tetrakisheksaedar, deltoidski ikozitetaedar i trijakisoktaedar ne daju u ovoj hemiedriji nove geometrijske likove.



Sl. 213.

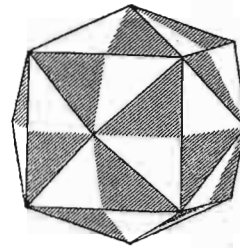


Sl. 214.

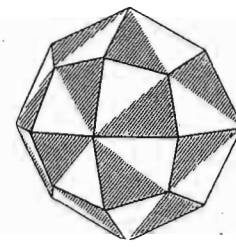


Sl. 215.

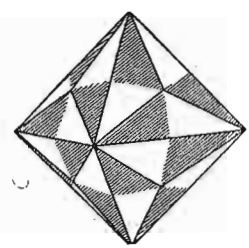
<sup>1)</sup> Od grč. *gyrós*, savit.



Sl. 216.



Sl. 217.



Sl. 218.

Od minerala kristalizuje se u ovoj hemiedriji na pr. kuprit i silvin.

V. *Tetartoedrija tesernalnoga sustava* (5. kristalni razred). Gubitkom pojedinih elemenata simetrije tesernalnoga sustava razvile su se hemiedrijske forme, u kojima su se sačuvali tek neki elementi simetrije. Tako su u tetraedrijskoj hemiedriji ostale  $6PS$  i  $4L^3 + 3L^2$ , a u pentagonskoj hemiedriji  $3PG$ ,  $4L^3 + 3L^2$  i C. Forme ovih dviju hemiedrija mogu se daljnjim gubitkom ravnina simetrije raspasti u nove forme još nižega stupnja simetrije. Izgubi li tetraedrijska hemiedrija još onih 6 PS, razvit će se forme samo sa  $4L^3 + 3L^2$ ; posve isti stupanj simetrije imat će i oni likovi, koji će se razviti, kad se u pentagonskoj hemiedriji izgube  $3PG$ , što će imati za posljedicu i gubitak centra simetrije.

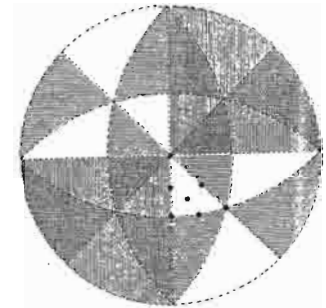
Iz stereografske projekcije (sl. 219.) vidi se, da će se u tetartoedriji tesernalnoga sustava raspasti u nove likove samo heksakisoktaedar (ili dijakisdodekaedar).

1. *Tetraedrijski pentagonski dodekaedar*. Heksakisoktaedar (sl. 220.) raspada se gubitkom svih P, 6L i C u 4 korelatna tetraedrijska pentagonska dodekaedra (sl. 222., 223.) i to u 2 pozitivna, od kojih je jedan desni {hkl}, jedan lijevi {khl} i u 2 negativna, od kojih je jedan desni {khl}; jedan lijevi {hkl}.

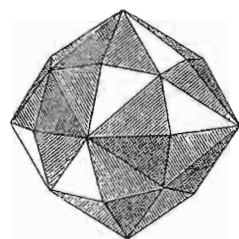
Oba desna i oba lijeva dadu se okretanjem oko osi dovesti u položaj da se pokrivaju, pa se razlikuju medju sobom samo svojim položajem spram kristalnih osi; oba pozitivna i oba negativna pokrivaju se, tek zrcalno; oni su enantiomorfni.

Tetraedrijski pentagonski dodekaedar sastavljen je od 12 raznostraničnih asimetrijskih pentagona, koji leže na plohama tetraedra. Kristalne osi i  $3L^2$  prolaze sredinom bridova, koji leže izmedju 2 jednaka ugla (roglja), gdje se sijeku po 3 brida.  $4L^3$  prolaze plohom tetraedra kroz uglove (rogljeve), u kojima se sijeku po 3 brida te izlaze na suprotne uglove (rogljeve), u kojima se opet sijeku po 3 brida.

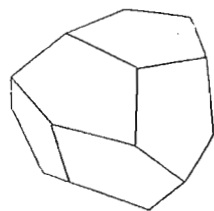
Kako u ovoj tetartoedriji ostaju geometrijski nepromijenjeni oktaedar, heksaedar, rompski dodekaedar, tetrakisheksaedar, deltoidski ikozitetaedar



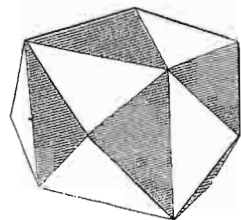
Sl. 219.



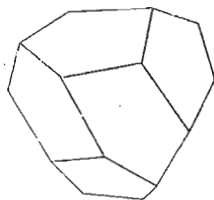
Sl. 220.



Sl. 222.



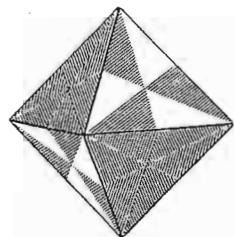
Sl. 221.



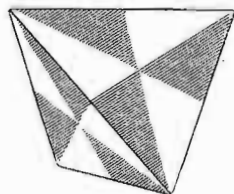
Sl. 223.

i trijakisoktaedar zatim tetraedar, trijakistetraedar, deltoidski dodekaedar i pentagonski dodekaedar pokazuju slike 224.—234.

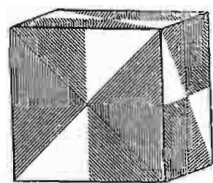
Od minerala, koji se kristalizuju u ovom kristalnom razredu, spomenut ćemo ulmanit.



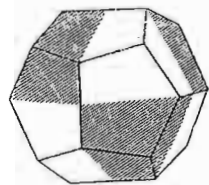
Sl. 224.



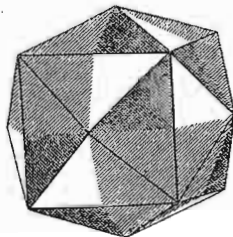
Sl. 225.



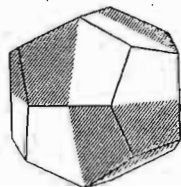
Sl. 226.



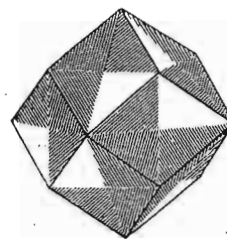
Sl. 227.



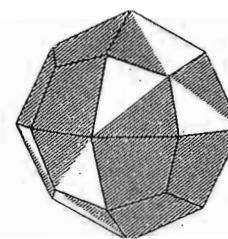
Sl. 228.



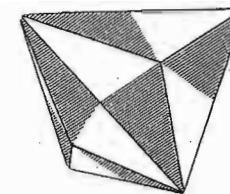
Sl. 229.



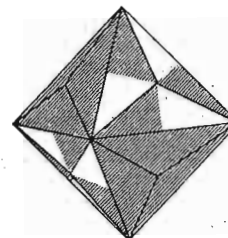
Sl. 230.



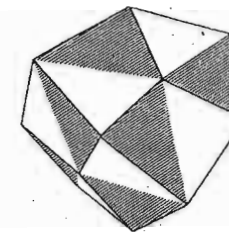
Sl. 231.



Sl. 232.



Sl. 233.



Sl. 234.

Teseralni sustav obuhvata dakle 5 kristalnih razreda: jednu holloedriju, tri hemiedrije i jednu tetartoedriju. Od 565 tačno proučenih minerala kristalizuju se u teseralnom sustavu 85; od toga u holloedriji 53.

#### Izračunavanje kutova (uglova) i znakova teseralnih formi<sup>1)</sup>.

1. *Oktaedar*  $O, \{111\}$ . Kutove (uglove), što ih tvore plohe oktaedra svojim međusobnim nagibom, možemo naći ili mjerenjem pomoću goniometra ili računom iz sferne projekcije. U sfernoj projekciji (sl. 235.) leži pol oktaedrove plohe  $(111)$  u tri zone, u zoni  $[010, 101]$ ,  $[100, 011]$  i  $[001, 110]$ . U sfernom trokutu (troughlu)  $(001)$ ,  $(101)$ ,  $(111)$  treba naći veličinu luka  $(101) : (111)$ , koji je polovica luka  $(111) : (1\bar{1}\bar{1})$ , t. j. polovica veličine normalnoga ili vanjskoga kuta oktaedrova. Pošto u tom trokutu poznamo kut kod  $(001) = 45^\circ$  i stranicu  $(001) : (101) = 45^\circ$ , izračunat ćemo veličinu luka  $(111) : (101)$  iz formule:

$$\text{tg } (111) : (101) = \text{tg } (001) \cdot \sin (001) : (101).$$

$$\text{Primjer: } \text{tg } (111) : (101) = \text{tg } 45^\circ \cdot \sin 45^\circ$$

$$\log \text{tg } 45^\circ = 0.00000$$

$$\log \sin 45^\circ = 9.84949$$

$$\log \text{tg } (111) : (101) = 9.84949$$

$$(111) : (101) = 35^\circ 15' 53''$$

$$(111) : (1\bar{1}\bar{1}) = 70^\circ 31' 46'' \text{ (normalni ili vanjski kut),}$$

$$180^\circ - 70^\circ 31' 46'' = 109^\circ 28' 14'' \text{ (nutarnji ili plošni kut (ugao).)}$$

2. *Heksaedar*  $\infty O \infty, \{100\}$ . Iz položaja ploha prema osima razabira se, da kut (ugao), što ga tvore plohe heksaedra međusobnim nagibom, iznosi  $90^\circ$ . O tom se možemo

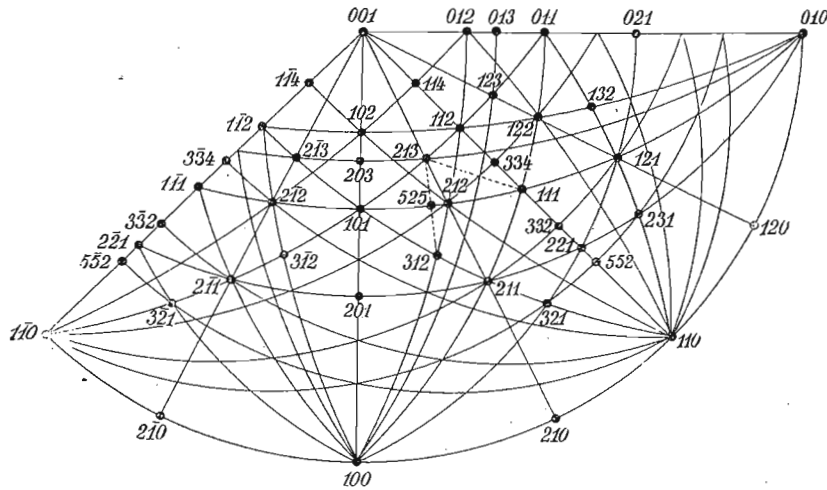
<sup>1)</sup> P. Groth: Physikalische Krystallographie. Vierte Auflage, pag. 566.

<sup>2)</sup> Kut (ugao) kod  $(001)$  leži nasuprot luka  $(100) : (110)$ , koji je polovica luka  $(100) : (010) = 90^\circ$ , a isto tako stranica  $(001) : (101)$  polovica je stranice  $(001) : (100) = 90^\circ$ .

osvjedočiti ili geometrijskim mjerenjem ili iz stereografske projekcije (sl. 235.), gdje je  $(001) : (010) = (001) : (100) = (100) : (010) = 90^\circ$ .

3. *Rompski dodekaedar*  $\infty O, \{110\}$ . Iz stereografske projekcije (sl. 235.) vidi se, da polovi ploha rompskoga dodekaedra  $(011), (110), (101)$  raspolavljaju zone  $[001, 010], [010, 100], [001, 100]$ , dakle da je kut (ugao) nagiba plohe s jedne i druge strane heksaedra  $= 90^\circ$ , t. j.  $(110) : (1\bar{1}0) = (101) : (\bar{1}01) = (011) : (0\bar{1}1) = 90^\circ$ . Druga vrsta kutova  $(101) : (011)$ , t. j. onih kutova, što ih čine nagibi između pojedinih bridova, izračunat ćemo iz sfernoga trokuta  $(001), (101), (011)$ , gdje su poznate 2 stranice  $(001) : (011) = 45^\circ$  i  $(001) : (101) = 45^\circ$ , po formuli:

$$\begin{aligned} \cos (101) : (011) &= \cos (001) : (101) \cdot \cos (001) : (011) \\ \log \cos 45^\circ &= 9.84949 \\ \log \cos 45^\circ &= 9.84949 \\ \log \cos (101) : (011) &= 9.69898 \\ (101) : (011) &= 60^\circ. \end{aligned}$$



Sl. 235.

4. *Tetrakisheksaedar*  $\infty On, \{k0h\}$  ima 2 vrste kutova (uglova); jednu vrstu  $(102) : (201) \dots (k0h) : (h0k)$  tvore plohe, koje se sijeku u osnovnim bridovima, drugu vrstu  $(102) : (012) \dots (k0h) : (0kh)$  tvore plohe, koje se sijeku u ovršnim bridovima.

a) Iz zadatog znaka  $(102)$  traži se prva vrsta kutova  $(102) : (201) \dots (k0h) : (h0k)$ .

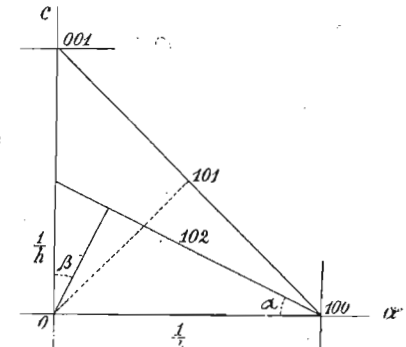
Taj ćemo zadatak riješiti po formuli (obrascu)  $\text{tg } (001) : (102) = \frac{1}{2}$ . Do te smo formule došli iz odnosa plohe tetrakisheksaedra prema kristalnim osima ovako:

U sl. 236. stranica  $Oa$  odgovara osi  $a$ , stranica  $Oc$  osi  $c$ ; os  $b$  pada u tačku  $O$ . Ploha rompskoga dodekaedra  $(101)$  leži u sredini između heksaedrovih ploha  $(001)$  i  $(100)$ , t. j. u jednakoj udaljenosti siječe os  $a$  i  $c$ , a sa  $b$  je paralelna. Ploha tetrakisheksaedra  $(102)$  siječe os  $a$  u udaljenosti 1, os  $c$  u udaljenosti za  $\frac{1}{2}$  manjoj. Okomica iz  $O$  na plohu  $(102)$  čini sa osi  $c$  normalni kut tetrakisheksaedra. Znak je tetrakisheksaedra  $(102), (304), (405) \dots (k0h)$ , gdje je  $k < h$ . Iz trokuta u sl. 236. vidimo, da je

$$\begin{aligned} \angle \alpha &= \angle \beta \\ \text{tg } \beta &= \frac{c}{a} = \frac{1}{h} : \frac{1}{k} = \frac{k}{h} = \frac{1}{2} : 1 = \frac{1}{2} \\ \text{tg } \beta &= \frac{1}{2}. \end{aligned}$$

Ako je dakle zadan znak  $(102)$ , onda je  $\beta = (001) : (102)$ .

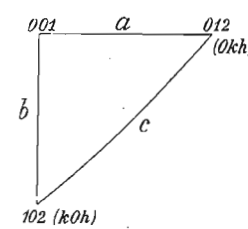
$$\begin{aligned} \text{tg } \beta &= \frac{1}{2} \\ \log 1 &= 0.00000 \\ \log 2 &= 0.30103 \\ \log \text{tg } \beta &= 9.69897 \\ (001) : (102) &= \beta = 26^\circ 33' 54''. \end{aligned}$$



Sl. 236.

b) Iz zadatoga znaka  $(102)$  traži se kut druge vrste  $(102) : (012) \dots (k0h) : (0kh)$ . Naći ćemo ga iz sfernoga trokuta (sl. 237.)  $(001), (102), (012)$ , u kom su poznate stranice  $b = (001) : (102)$  i  $a = (001) : (012)$  i to iz znaka  $(102)$ ,

t. j. iz  $(k0h)$ , gdje je  $\text{tg } \beta = (001) : (102) = \frac{1}{2} = \frac{k}{h}$ ; dakle



Sl. 237.

$$\begin{aligned} \cos c &= \cos b \cdot \cos a \\ \cos c &= \cos 26^\circ 33' 54'' \cdot \cos 26^\circ 33' 54'' \\ \log \cos 26^\circ 33' 54'' &= 9.95155 \\ \log \cos 26^\circ 33' 54'' &= 9.95155 \\ \log \cos c &= 9.90310 \\ c &= (102) : (012) = 36^\circ 52' 8''. \end{aligned}$$

c) Iz zadatoga kuta prve vrste  $(102) : (201) \dots (k0h) : (h0k)$  (sl. 238.) traži se znak  $(k0h)$ . Neka je zadan na pr. kut  $(k0h) : (h0k) = 16^\circ 15' 30''$ , ili njegova polovica  $(k0h) : (101) = 8^\circ 7' 45''$ , a poznat je i kut  $(001) : (k0h)$  kao dopunjak do  $45^\circ$  t. j.  $(001) : (k0h) = 36^\circ 52' 15''$ .

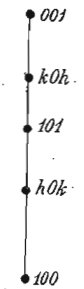
$$\begin{aligned} \text{tg } (001) : (k0h) &= \frac{k}{h} \\ \log \text{tg } 36^\circ 52' 15'' &= 9.87507 \end{aligned}$$

$$\text{numerus od } 0.87507 - 1 = 0.75 = \frac{75}{100} = \frac{15}{20} = \frac{3}{4}$$

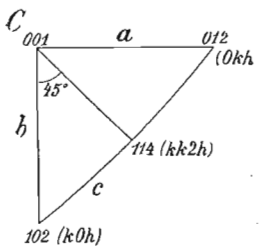
dakle je znak  $(k0h) = (304)$ .

d) Iz zadatoga kuta druge vrste (sl. 239.)  $(102) : (012) \dots (k0h) : (0kh)$  traži se znak  $(k0h)$ . Neka je zadan na pr. kut  $(k0h) : (0kh)$ ; uzme se polovina dakle  $(kk2h) : (k0h)$ ; na taj smo način došli do sfernoga trokuta  $(001), (k0h), (kk2h)$ , u kom je poznata polovina zadata kuta  $(k0h) : (kk2h)$  i kut kod  $(001) = 45^\circ$ ; treba izračunati stranicu  $(001) : (k0h)$  iz sfernoga trokuta  $(001) : (k0h) : (kk2h)$  (sl. 240.), a iz njega se dobije znak  $\frac{k}{h}$  kao  $\text{tg } (001) : (k0h)$ ;

$$\begin{aligned} \text{dakle (sl. 240.):} \quad \sin b &= \frac{\sin c}{\sin C} = \frac{\sin (k0h) : (kk2h)}{\sin (001)} \\ \sin b &= \frac{\sin 18^\circ 26' 4''}{\sin 45^\circ} \\ \log \sin 18^\circ 26' 4'' &= 9.49999 \\ \log \sin 45^\circ &= 9.84949 \\ \log \sin b &= 9.65050 \end{aligned}$$



Sl. 238.



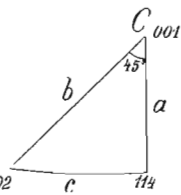
Sl. 239.

$$b = (001) : (102) = 26^\circ 33' 50''$$

$$\text{tg } 26^\circ 33' 50'' = 9.69895$$

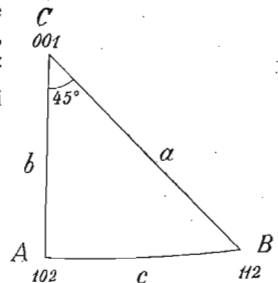
numerus od 0.69895 - 1 = 0.5 =  $\frac{1}{2}$ , dakle je traženi znak (102).

5. Deltoiaski ikozitetradar mOm, {kkh} ima dvije vrste kutova (uglova); jedna vrsta (112):(112)... (kkh):(kKh), koji čine plohe, što se sijeku u 4 jednaka brida i druga vrsta (112):(121)... (kkh):(khk), koji čine plohe, što se sijeku u 3 jednaka brida.



Sl. 240.

a) Iz zadatoga znaka (112) neka se nadje prva vrsta kuta (112):(112)... (kkh):(kKh); traži se samo polovica od (112):(112), dakle (102):(112); tako smo došli u sferni trokut (001), (102), (112), gdje je poznat kut kod (001) = 45° i luk (001):(102) iz formule  $\text{tg } \beta = \frac{1}{2}$ , pa ćemo naći luk (102):(112) po formuli (sl. 241.)  $\text{tg } c = \text{tg } C \cdot \sin b$ .



Sl. 241.

$$\text{tg } c = \text{tg } 45^\circ \cdot \sin 26^\circ 33' 54''$$

$$\log \text{tg } 45^\circ = 0.00000$$

$$\log \sin 26^\circ 33' 54'' = 9.65052$$

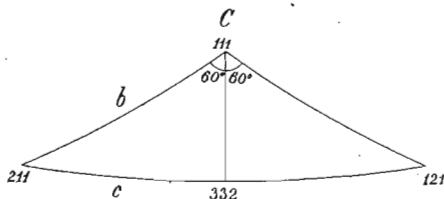
$$\log \text{tg } c = 9.65052$$

$$c = 24^\circ 5' 42''$$

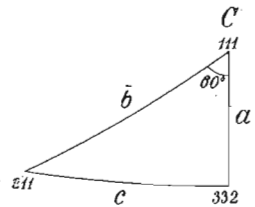
$$2c = (112) : (1\bar{1}2) = 48^\circ 11' 24''$$

b) Iz zadatoga znaka (112) neka se nadje druga vrsta kuta (211):(121)... (hkk):(khk). Treba izračunati najprije udaljenost pola (112)... (kkh) od (001) t. j. stranicu (001):(112) i to iz sfernoga trokuta (001):(102):(112), gdje je poznat kut kod (001) = 45°, iz formule (sl. 241.)  $\text{tg } a = \frac{\text{tg } b}{\cos C}$ . Osim kuta kod (001) = 45° poznata je i stranica b kao

$\text{tg } b = \frac{1}{2} \cdot \frac{k}{h}$ . Kad izračunamo stranicu a (001):(112), odbit ćemo je od luka (001):(111), koji je poznat kao polovica suplementnoga kuta oktaedrova t. j. (111):(111) = 109° 28' 14'' ili (001):(111) = 54° 44' 7'' i dobit ćemo veličinu luka (111):(112)... (111):(kkh), koji je jednak luku (111):(211)... (111):(hkk) i luku (111):(121)... (111):(khk). Tako smo došli do tražene stranice (211):(121)... (hkk):(khk), kojase nalazi isto-



Sl. 242.



Sl. 243.

kračnom trokutu (sl. 242.) (111), (211), (121); u tom su trokutu poznate obje jednake stranice i kut među njima t. j. kut pri (111) = 120° (jer se u (111) sijeku krugovi zona pod kutom od 60°). Zona [111, 110] raspolavlja simetrijski trokut (111), (211), (121), dakle u dvije jednake pole (111), (211), (332) i (111), (121), (332). Dobili smo dva jednaka

pravokutna sferna trokuta, gdje pravi kut leži u polu (332); indeksi toga pola (hkh) u svakom su slučaju određeni indeksima (hkk) i (khk). U tom (sl. 243.) jednom pravokutnom sfernom trokutu (111), (211), (332) poznata je stranica (111):(211)... (111):(hkk) i kut kod (111) = 60°, pa ćemo naći stranicu (211):(332), koja je polovina traženoga kuta (211):(121), po formuli:

$$\sin c = \sin b \sin C$$

Primjer:  $\text{tg } a = \frac{\text{tg } b}{\cos C} = \frac{\text{tg } 26^\circ 33' 54''}{\cos 45^\circ}$

$$\log \text{tg } 26^\circ 33' 54'' = 9.69897$$

$$\log \cos 45^\circ = 9.84949$$

$$\log \text{tg } a = 9.84948$$

$$a = (001) : (112) = 35^\circ 15' 51''$$

$$(111) : (001) - (001) : (112)$$

$$\frac{54^\circ 44' 7'' = (111) : (001)}{35^\circ 15' 51'' = (001) : (112)}$$

$$19^\circ 28' 16'' = (111) : (112) = (111) : (211) = (111) : (121).$$

Sada tražimo (211):(121) ili  $\frac{1}{2}$  (211):(332) u trokutu (111), (211), (332) po formuli:

$$\sin c (211) : (332) = \sin b (111) : (211) \cdot \sin C (111) = 60^\circ$$

$$\log \sin 19^\circ 28' 16'' = 9.52288$$

$$\log \sin 60^\circ = 9.93753$$

$$\log \sin c = 9.46041$$

$$c = (211) : (332) = 16^\circ 46' 43''$$

$$2c = (211) : (121) = 33^\circ 33' 26''$$

c) Iz zadatoga kuta prve vrste (112):(102)... (kkh):(k0h) neka se nadje znak (kkh). U sfernom pravokutnom trokutu (sl. 241.) (001), (102), (112) ili (001), (k0h), (kkh) poznat je kut pri (001) = 45° i zadati kut (112):(102) ili (kkh):(k0h) kao polovina (112):(112); rješenje daje formula  $\sin b = \frac{\text{tg } c}{\text{tg } C}$ .

Kad nadjemo  $\sin b (102) : (001)$ , tražimo  $\text{tg } b (102) : (001)$ , koji daje znak  $\frac{k}{h}$ .

Primjer: Zadana je ova vrsta kuta (kkh):(k0h) = 12° 14' 22''.

$$\sin b = \frac{\text{tg } 12^\circ 14' 22''}{\text{tg } 45^\circ}$$

$$\log \text{tg } 12^\circ 14' 22'' = 9.33631$$

$$\log \text{tg } 45^\circ = 0.00000$$

$$\log \sin b = 9.33631$$

$$b = (001) : (k0h) = 12^\circ 31' 43''$$

$$\log \text{tg } b = 9.34678$$

$$\text{numerus od } 0.34678 - 1 = 0.22222 = 0.2 = \frac{2}{9}$$

$$\text{tg } b (001) : (k0h) = \frac{2}{9} = \frac{k}{h}; \text{ dakle } (209) \text{ i } (229) \text{ t. j. } (k0h) = (209)$$

znak za ∞On i (kkh) = (229), znak za mOm.

d) Iz zadatoga kuta druge vrste (211):(121)... (hkk):(khk) neka se nadje znak (kkh). Postupak je obratan onome kod c), gdje smo tražili iz znaka (112) kut (211):(121). Riješit ćemo trokut (111), (211), (332) (sl. 243.), u kom je poznat kut kod (111) = 60° i stranica c = (211):(332) kao  $\frac{1}{2}$  zadata kuta. U pomenutom pravokutnom sfernom



trokutu izračunamo stranicu  $b = (211) : (111)$ , koja je jednaka stranici  $(111) : (112)$ . Sad ćemo naći veličinu stranice  $(001) : (112)$ , ako od  $(001) : (111)$  odbijemo  $(111) : (112)$  i doći ćemo do trokuta  $(001)$ ,  $(112)$ ,  $(102)$ , (sl. 241.) u kome poznamo kut kod  $(001) = 45^\circ$  i stranicu  $a = (112) : (001)$ , a tražimo stranicu  $b$   $(001) : (102)$ , koja u tg daje znak  $\frac{k}{h}$ .

$$\begin{aligned} \text{Primjer: Zadato je (sl. 243.) } (211) : (332) &= 16^\circ 46' 43'' \\ \sin b (111) : (211) &= \frac{\sin c (211) : (332)}{\sin C (111)} = \frac{\sin 16^\circ 46' 43''}{\sin 60^\circ} \\ \log \sin 16^\circ 46' 43'' &= 9.46041 \\ \log \sin 60^\circ &= 9.93753 \\ \hline \log \sin b (111) : (211) &= 9.52288 \\ (111) : (211) &= 19^\circ 28' 16''. \end{aligned}$$

Sad ćemo odbiti  $(111) : (211)$  od  $(001) : (111)$ , dakle

$$\begin{aligned} (001) : (111) &= 54^\circ 44' 7'' \\ (111) : (112) &= 19^\circ 28' 16'' \\ \hline (001) : (112) &= 35^\circ 15' 51''. \end{aligned}$$

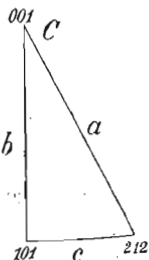
Prelazimo na trokut  $(001)$ ,  $(102)$ ,  $(112)$  (sl. 241.), u kom je poznata stranica  $a = (001) : (112)$  i kut kod C  $(001) = 45^\circ$ ;

$$\begin{aligned} \text{tg } b (001) : (102) &= \cos C (001) \cdot \text{tg } a (001) : (112) \\ \text{tg } b &= \cos 45^\circ \cdot \text{tg } 35^\circ 15' 51'' \\ \log \cos 45^\circ &= 9.84949 \\ \log \text{tg } 35^\circ 15' 51'' &= 9.84948 \\ \hline \log \text{tg } b &= 9.69897; \end{aligned}$$

numerus od  $0.69897 - 1 = 0.500 = \frac{1}{2}$ ; dakle je znak za  $(k0h) = (102)$ , za  $(khh) = (112)$ .

6. *Trijakisoktaedar*  $mO$ ,  $\{hkh\}$  ima dvije vrste kutova; jednu vrstu tvore plohe, koje se sijeku u osnovnim bridovima istokračna trokuta; dakle kut  $(212) : (2\bar{1}2) \dots (hkh) : (h\bar{h}h)$ ; drugu vrstu tvore plohe, koje se sijeku u bridovima, što odgovaraju kraćima istokračna trokuta; dakle kut  $(212) : (122) \dots (hkh) : (khh)$ .

a) Iz zadatog znaka  $(212)$  traži se kut prve vrste  $(212) : (2\bar{1}2) \dots (hkh) : (h\bar{h}h)$ . Uzet ćemo taj kut u polovini  $(212) : (101)$  i on je jedna stranica u pravokutnom sfernom trokutu  $(001)$ ,  $(101)$ ,  $(212)$  (sl. 244.), u kom je poznata stranica  $(001) : (101)$  kao stranica  $\frac{1}{2}$  kuta rompskoga dodekaedra  $= 45^\circ$ , i kut kod  $(001)$ , koji se izračuna iz  $\text{tg } \beta = \frac{1}{2}$ ,



Sl. 244.

gdje dobijemo veličinu luka  $(001) : (102) = (100) : (210)$ , dakle je i kut kod  $(001) = (100) : (210)$  ili  $(001) = (100) : (hk0)$  kao kut toga luka.

$$\begin{aligned} \text{tg } c (101) : (212) &= \sin b (001) : (101) \cdot \text{tg } C (001) = \\ &= \sin 45^\circ \cdot \text{tg } 26^\circ 33' 54'' \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \log \sin 45^\circ &= 9.84949 \\ \log \text{tg } 26^\circ 33' 54'' &= 9.69897 \\ \hline \log \text{tg } (101) : (212) &= 9.54846 \end{aligned}$$

$$c = (101) : (212) = 19^\circ 28' 16''$$

$$2c = (212) : (2\bar{1}2) = 38^\circ 56' 32''.$$

b) Iz zadatoga znaka  $(212)$  traži se kut druge vrste  $(212) : (122) \dots (hkh) : (khh)$ . Riješit ćemo trokut  $(001)$ ,  $(101)$ ,  $(212)$ , gdje tražimo stranicu  $(101) : (212)$ ; nju odbijemo od  $(111) : (101)$  i dobijemo stranicu  $(111) : (212)$ , koja je jednaka stranici  $(111) : (122)$ ,

te stranici  $(111) : (221)$ . Tako smo došli do tražene stranice  $(212) : (122)$ , koja je treća stranica istokračnoga trokuta  $(111)$ ,  $(212)$ ,  $(122)$ , gdje je kut kod  $(111) = 120^\circ$ . Zonalni krug  $(001) : (110)$  razpolavlja taj trokut u dva pravokutna sferna trokuta, te se polovina tražena kuta  $(212) : (334)$  izračuna iz trokuta  $(212)$ ,  $(334)$ ,  $(111)$  (sl. 245.), gdje je poznat kut pri  $(111) = 60^\circ$  i stranica  $(212) : (111)$ , po formuli  $\sin (212) : (334) = \sin (212) : (111) \sin 60^\circ$ .

Primjer:  $\text{tg } (101) : (212) = \sin (001) : (101) \cdot \text{tg } (001)$ ; rješenje vidi kod a)!

$$\begin{aligned} (101) : (212) &= 19^\circ 28' 16'' \\ \text{od stranice } (111) : (101) &= 35^\circ 15' 53'' \text{ (polovica oktaedrova kuta)} \\ \text{odbijemo stranicu } (101) : (212) &= 19^\circ 28' 16'' \end{aligned}$$

i dobijemo stranicu  $(111) : (212) = 15^\circ 47' 37''$ ;

u trokutu  $(212)$ ,  $(334)$ ,  $(111)$  je

$$\sin (212) : (334) = \sin b (212) : (111) \cdot \sin 60^\circ;$$

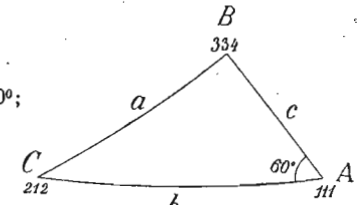
$$\log \sin 15^\circ 47' 37'' = 9.43485$$

$$\log \sin 60^\circ = 9.93753$$

$$\log \sin (212) : (334) = 9.37238$$

$$(212) : (334) = 13^\circ 38' 1''$$

$$(212) : (122) = 27^\circ 16' 2''.$$



Sl. 245.

c) Iz zadatoga kuta prve vrste  $(101) : (212) \dots (101) : (hkh)$  traži se znak  $(hkh)$ . Riješit ćemo trokut  $(001)$ ,  $(101)$ ,  $(212)$  (sl. 244.), u kom je poznata zadata stranica  $(101) : (212)$  i stranica  $(001) : (101) = 45^\circ$  (kao  $\frac{1}{2}$  kuta rompskoga dodekaedra), a traži se kut kod  $(001)$  po formuli:

$$\begin{aligned} \text{tg } (001) &= \frac{\text{tg } (101) : (212)}{\sin (001) : (101)} = \frac{\text{tg } 19^\circ 28' 16''}{\sin 45^\circ} \\ \log \text{tg } 19^\circ 28' 16'' &= 9.54846 \\ \log \sin 45^\circ &= 9.84949 \\ \hline \log \text{tg } (001) &= 9.69897. \end{aligned}$$

Numerus od  $0.69897 - 1 = 0.5000 = \frac{1}{2}$ , dakle je znak za  $\infty On = \{102\}$ ,  $mOm = \{112\}$ ;  $mO = \{122\}$ .

d) Iz zadatoga kuta druge vrste  $(212) : (122) \dots (hkh) : (khh)$  (sl. 245.) traži se znak  $(khh)$ . Riješit ćemo trokut  $(212) : (111) : (334)$ , u kom je poznata stranica  $(212) : (334)$  kao polovica zadate stranice  $= 13^\circ 38' 1''$  i kut kod  $(111) = 60^\circ$ , a traži se stranica  $(111) : (212)$  po formuli:

$$\sin (111) : (212) = \frac{\sin (212) : (334)}{\sin (111)} = \frac{\sin 13^\circ 38' 1''}{\sin 60^\circ}; (111) : (212) = 15^\circ 47' 37''$$

(vidi rješenje kod a!) odbijemo od polovice oktaedrova kuta  $(111) : (101) = 35^\circ 15' 53''$ , te se dobije veličina luka  $(101) : (212) = 19^\circ 28' 16''$ . Sada prijedemo na trokut  $(001)$ ,  $(101)$ ,  $(212)$  (sl. 244.), gdje je poznat luk  $(001) : (101) = 45^\circ$  i luk  $(101) : (212) = 19^\circ 28' 16''$ , a traži se kut kod  $(001)$ , koji u tg daje znak za  $\infty On$  ili za  $mO$ ; dakle

$$\begin{aligned} \text{tg } (001) &= \frac{\text{tg } (101) : (212)}{\sin (001) : (101)} = \frac{\text{tg } 19^\circ 28' 16''}{\sin 45^\circ} \\ \log \text{tg } 19^\circ 28' 16'' &= 9.54846 \\ \log \sin 45^\circ &= 9.84949 \\ \hline \log \text{tg } (001) &= 9.69897. \end{aligned}$$

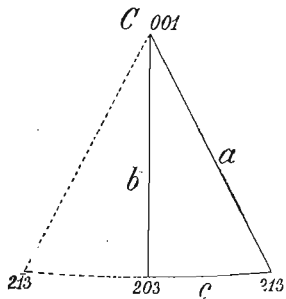
Numerus od  $0.69897 - 1 = 0.5000 = \frac{1}{2}$ , dakle je znak za  $\infty On = \{102\}$ , za  $mO = \{122\}$ .

7. *Heksakisoktaedar*  $mOn$ ,  $\{hkl\}$  ima tri vrste bridova ili tri vrste kutova, srednji brid  $(213) : (2\bar{1}3)$ , koga otupljuje ploha tetrakisheksaedra  $(203)$ , najdulji brid  $(213) : (123)$ , koga otupljuje ploha deltoidskog ikozitetraedra  $(112)$  i najkraći  $(213) : (312)$ , koga otupljuje ploha trijakisoktaedra  $(552)$ .

a) Iz zadatoga znaka  $(123)$  traži se srednji kut  $(213) : (2\bar{1}3) \dots (klh)$ ; plohe  $(213)$  i  $(2\bar{1}3)$  otupljuje u bridu ploha  $(203)$ , koje je udaljenost od  $(001)$  određena znakom  $(203)$ ; stranica  $(001) : (203)$  jest stranica pravokutnog sfernog trokuta  $(001), (203), (213)$  (sl. 246.); u tom je trokutu poznata stranica  $(001) : (203)$  iz  $\text{tg } \beta = \frac{2}{3}$ , a poznat je i

kut kod  $(001)$ , koji se izračuna kao  $\text{tg}$  luka  $(100) : (210) = (001) : (102) = \text{tg } \beta = \frac{1}{2}$ ; kutu kod  $(001)$  suprotna stranica  $(203) : (213)$  jest polovina tražena heksakisoktaedrova kuta  $(213) : (2\bar{1}3)$ .

Primjer:  $(203) : (213) = ?$ ; poznato je  $(001) : (203)$  i kut kod  $(001)$ .  
 $\text{tg } c (203) : (213) = \sin b (001) : (203) \cdot \text{tg } C (001)$

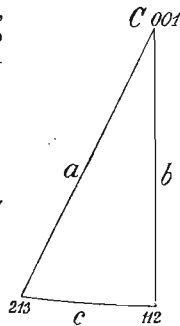


Sl. 246.

$$\begin{aligned} \text{tg } b (001) : (203) &= \frac{2}{3} \\ \log 2 &= 0.30103 \\ \log 3 &= 0.47712 \\ \log \text{tg } (001) : (203) &= 9.82391 \\ b = (001) : (203) &= 33^\circ 41' 24'' \\ \log \sin 33^\circ 41' 24'' &= 9.74406 \\ \log \text{tg } 26^\circ 33' 54'' &= 9.69897 \\ \log \text{tg } c (203) : (213) &= 9.44303 \\ c = (203) : (213) &= 15^\circ 30' 4'' \\ 2c = (213) : (2\bar{1}3) &= 31^\circ 0' 8''. \end{aligned}$$

b) Iz zadatoga znaka  $(123)$  traži se kut najduljega brida  $(213) : (123) \dots (klh) : (lkh)$ . Rješenje je analogno rješenju pod a). Plohe  $(213)$  i  $(123)$  otupljuje u bridu ploha  $(112)$ . Tu imamo pravokutan sferni trokut (sl. 247.)  $(213), (112), (001)$ , u kome je  $(213) : (112)$  polovica tražena kuta. U tom trokutu poznamo stranicu  $(001) : (112)$ , koja se izračuna po načinu za deltoidski ikozitetraedar; poznamo još i kut kod  $(001)$ , koji se izračuna iz luka  $(100) : (210) = (100) : (110) - (210) : (110)$  i to kao  $\text{tg } \beta = \frac{1}{2}$ .

Primjer:  $c = (112) : (213) = ?$   
 $b = (001) : (112) = 35^\circ 15' 51''$ ;  $C = (001) = 18^\circ 26' 6''$   
 $\text{tg } (112) : (213) = \sin (001) : (112) \cdot \text{tg } C = \sin 35^\circ 15' 51'' \cdot \text{tg } 18^\circ 26' 6''$   
 $\log \sin 35^\circ 15' 51'' = 9.76143$   
 $\log \text{tg } 18^\circ 26' 6'' = 9.52288$   
 $\log (112) : (213) = 9.28431$   
 $c = (112) : (213) = 10^\circ 53' 35''$   
 $2c = (213) : (123) = 21^\circ 47' 10''.$



Sl. 247.

c) Iz zadatoga znaka  $(123)$  traži se kut najkraćega brida  $(321) : (231) \dots (hkl) : (khl)$ . 1.) Trijakisoktaedar  $(552)$  otupljuje brid  $(321) : (231)$ ; tome se trijakisoktaedru nadju indeksi,

iz heksakisoktaedra. Luk  $(321) : (552)$ , koji je polovica tražena kuta  $(321) : (231)$ , stranica je sfernoga pravokutnoga irokuta (sl. 248.)  $(321), (552), (110)$ . U tom trokutu poznamo luk  $(110) : (552) = (101) : (525) = 15^\circ 47' 36''$ , koji se izračuna iz znaka  $(552)$  po načinu za trijakisoktaedar; poznat je još i kut kod  $(110)$ , jer je on jednak luku  $(001) : (1\bar{1}2) = 35^\circ 15' 51''$ . (Kut pri  $(110)$  jednak je uvijek onom deltoidskom ikozitetraedru  $(k\bar{k}h)$  spram heksaedra, koji leži na presjecištu zona  $[hkl, 110]$  i  $[001, 1\bar{1}0]$ ).

Primjer:  $(101) : (525) = ?$

1.)  $\text{tg } (101) : (525) = \sin (001) : (101) \cdot \text{tg } (001)$ ;  $\text{tg } (110)$  se nadje iz znaka  $(205)$ , koji je jednak luku  $(100) : (520)$ , a tome je luku jednak kut kod  $(001)$ ; dakle:

$$\begin{aligned} g (001) &= \frac{2}{5} \\ \log 2 &= 0.30103 \\ \log 5 &= 0.69897 \\ \log \text{tg } (001) &= 9.60206 \\ C (001) &= 21^\circ 48' 4''. \end{aligned}$$

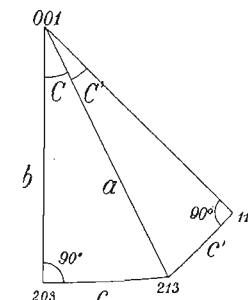
U formuli  $\text{tg } (101) : (525) = \sin (001) : (101) \cdot \text{tg } (001) = \sin 45^\circ \cdot \text{tg } 21^\circ 48' 4''$

$$\begin{aligned} \log \sin 45^\circ &= 9.84949 \\ \log \text{tg } 21^\circ 48' 4'' &= 9.60206 \\ \log \text{tg } (101) : (525) &= 9.45155 \\ c = (101) : (525) &= 15^\circ 47' 36''. \end{aligned}$$

2.)  $\text{tg } (552) : (321) = \sin (110) : (552) \cdot \text{tg } (110) = \sin 15^\circ 47' 36'' \cdot \text{tg } 35^\circ 15' 51''$

$$\begin{aligned} \log \sin 15^\circ 47' 36'' &= 9.43484 \\ \log \text{tg } 35^\circ 15' 51'' &= 9.84948 \\ \log \text{tg } (552) : (321) &= 9.28432 \\ c = (552) : (321) &= 10^\circ 53' 36'' \\ 2c = (321) : (231) &= 21^\circ 47' 12''. \end{aligned}$$

Izračunavanje znakova vrši se tako, da obavimo dva mjerenja, pošto imamo na heksakisoktaedru 3 nejednaka brida i 2 nejednaka znaka  $h : k : l$ .



Sl. 249.

d) Neka se nadje znak  $(hkl)$ , ako je mjerjen kut srednjega i najduljega brida, t. j.  $(213) : (2\bar{1}3)$  i  $(213) : (123)$  ili općenito  $(klh) : (k\bar{l}h)$  i  $(klh) : (lkh)$ . Tetrakisheksaedar  $(203)$  otupljuje brid  $(213) : (2\bar{1}3)$ , a deltoidski ikozitetraedar  $(112)$  brid  $(213) : (123)$ . Uzet ćemo njihove polovine  $(213) : (203)$  i  $(213) : (112)$ . Svaki od tih lukova tvori sa  $(001)$  pravokutni sferni trokut  $(001), (203), (213)$  i  $(001), (112), (213)$ , u kojima je stranica  $(001) : (213)$  zajednička hipotenuza (sl. 249.). Ako je u tim trokutima  $(203) : (213) = c$ , a suprotni kut  $C$ ;  $(213) : (112) = c'$ , a suprotni kut  $C'$ ;  $(001) : (213) = a$  kao zajednička hipotenuza, onda je

$$\begin{aligned} \sin a &= \frac{\sin c}{\sin C} = \frac{\sin c'}{\sin C'} \\ \sin a &= \frac{\sin C'}{\sin C} = \frac{\sin c'}{\sin c} \end{aligned}$$

$C + C' = 45^\circ$ ; kako je  $C' = 45^\circ - C$ , to je

$$\frac{\sin(45^\circ - C)}{\sin C} = \frac{\frac{1}{2}(\cos C - \sin C)\sqrt{2}}{\sin C} = \frac{\sqrt{2}\cos C - \sqrt{2}\sin C}{2\sin C} =$$

$$= \frac{\sqrt{2}\cos C}{2\sin C} - \frac{\sqrt{2}\sin C}{2\sin C} = \frac{1}{2}\sqrt{2}\cotg C - \frac{1}{2}\sqrt{2} =$$

$$= \sin 45^\circ \cdot \cotg C - \sin 45^\circ = \frac{\sin c'}{\sin c} \cdot \sin 45^\circ$$

$$\cotg C - 1 = \frac{\sin c'}{\sin 45^\circ \cdot \sin c}$$

$$\cotg C = \frac{\sin c'}{\sin 45^\circ \cdot \sin c} + 1.$$

Primjer:  $2c = (213):(2\bar{1}3) = 31^\circ 0' 8''$ ;  $c' = (203):(213) = 15^\circ 30' 4''$   
 $2c' = (213):(123) = 21^\circ 47' 10''$ ;  $c' = (213):(112) = 10^\circ 53' 35''$   
 $\log \sin c(203):(213) = 15^\circ 30' 4'' = 9.42693$   
 $\log \sin c(203):(213) = 15^\circ 30' 4'' = 9.42693$   
 $9.27642$ ; to se odbije od  
 $\log \sin c'(213):(112) = 10^\circ 53' 35'' = 9.27641$   
 $9.27642$   
 $9.99999$ .

Logoritm 0.99999 - 1 traži se numerus, da mu se može pribrojiti 1 iz gornje jednadžbe i dobijemo  $\cotg C$ , komu se nadje logoritam; dakle

$$\text{numerus od } 0.99999 - 1 = 0.99997$$

$$\cotg C = 0.99997 + 1 = 1.99997$$

$$\log \cotg C = 0.30103$$

$$C = 26^\circ 33' 54''.$$

Kad je na taj način nadjen  $C$  iz poznatih veličina  $c$  i  $c'$ , izračuna se neposredno luk  $b(001):(203)$  u trokutu  $(001)$ ,  $(203)$ ,  $(213)$  (sl. 249.), t. j. znak za onaj tetrakisheksedar, koji otupluje srednji brid heksakisoktaedra, po ovoj formuli:

$$\sin b = \frac{\cotg C}{\cotg c} = \frac{\cotg 26^\circ 33' 54''}{\cotg 15^\circ 30' 4''}.$$

Došli smo tako do trokuta  $(001):(203):(213)$

$$\log \cotg 26^\circ 33' 54'' = 0.30103$$

$$\log \cotg 15^\circ 30' 4'' = 0.55698$$

$$\log \sin b(001):(203) = 9.74405$$

$$b(001):(203) = 33^\circ 41' 22''.$$

Tangenta luka  $b(001):(203)$  daje znak za onaj tetrakisheksedar, koji otupluje srednji brid heksakisoktaedra:

$$\log \operatorname{tg} 33^\circ 41' 22'' = 9.82390,$$

numerus od  $0.82390 - 1 = 0.6666 = \frac{6}{9} = \frac{2}{3} = 203$ . Sad ćemo potražiti tangentu kuta

$(001) = C = 26^\circ 33' 54''$ , jer taj kut određuje jedan pol (210) na glavnom krugu, a spojni pravac toga pola sa polom (001) sadržaje i pol (213) ili (klh); dakle:

$$\log \operatorname{tg} 26^\circ 33' 54'' = 9.69897;$$

numerus  $0.69897 - 1 = 0.5000 = \frac{1}{2}$ , dakle je znak tetrakisheksedar na glavnom krugu =

= (210). Tako smo našli da nepoznata ploha leži na presjecištu ovih dviju zona:  $[203, 010]$  i  $[001, 210]$ ; po zonalnom zakonu lako se nadje njezin znak:

znak zone  $[203, 010] = ?$

$$\begin{array}{cccc} 2 & 0 & 3 & 2 & 0 & 3 \\ & \times & \times & \times & \times & \times \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ \hline 0 & -3 & = & -3; & 0 & -0 = 0; & 2 & -0 = 2. \end{array}$$

Znak zone  $[203, 010] = [\bar{3}0\bar{2}]$ . Znak zone  $[001, 210] = ?$

$$\begin{array}{cccc} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ & \times & \times & \times & \times & \times \\ 2 & 1 & 0 & 2 & 1 & 0 \\ \hline 0 & -1 & = & -1; & 2 & -0 = 2; & 0 & -0 = 0. \end{array}$$

Znak zone  $[001, 210] = [\bar{1}20]$ ; znak plohe = ?

$$\begin{array}{cccc} \bar{1} & 2 & 0 & \bar{1} & 2 & 0 \\ & \times & \times & \times & \times & \times \\ \bar{3} & 0 & 2 & \bar{3} & 0 & 2 \\ \hline 4 & -0 = 4; & 0 & -\bar{2} = 2; & 0 & -\bar{6} = 6 = (426) = (213). \end{array}$$

Traženi je dakle znak plohe heksakisoktaedra (213).

e) Neka se nadje znak (hkl), ako je mjerjen kut srednjega brida  $(213):(2\bar{1}3) = 2c$  i najkraćega brida  $(213):(312) = 2c'$  ili njihove polovice  $(213):(203) = c$  i  $(213):(525) = c'$ ; općenito (klh):(k0h) i (klh):(hkh). Polovica srednjega brida  $(213):(203) = c$ ; jedna je stranica sfernoga pravokutnoga trokuta  $(203)$ ,  $(213)$ ,  $(101)$ ; polovica najkraćega brida  $(213):(525) = c'$  jedna je stranica sfernoga pravokutnoga trokuta  $(213)$ ,  $(52\bar{5})$ ,  $(101)$ . Oba ta sferna pravokutna trokuta imaju zajedničku hipotenuzu  $(101):(213) = a$  (sl. 250). Za oba kuta kod  $(101) = C + C'$  vrijedi jednadžba:

$$\frac{\sin C'}{\sin C} = \frac{\sin c'}{\sin c}; \text{ kako je } C + C' = 90^\circ, \text{ to je}$$

$$\cotg C = \frac{\sin c'}{\sin c}.$$

Tako su oba sferna pravokutna trokuta tačno od-

redjena, a prema tome i lukovi  $b(203):(101)$  i  $b'(101):(525)$ , t. j. znak za tetrakisheksedar (k0h), koji otupluje srednji brid heksakisoktaedra i znak za trijakisoktaedar (hkh), koji otupluje najkraći brid heksakisoktaedra. Za prvi slučaj imamo trokut (sl. 250.),

gdje poznamo kut kod  $(101) = C$  iz  $\cotg C = \frac{\sin c'}{\sin c}$  i zadatu stranicu  $(203):(213) = c$ ;

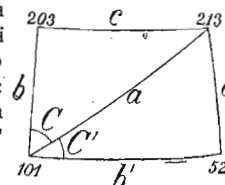
traži se luk  $b(203):(101)$ , koji daje znak za (k0h). Za drugi slučaj imamo trokut (sl. 250.),

gdje je poznat kut kod  $(101) = C'$  iz  $\cotg C = \frac{\sin c'}{\sin c}$  i zadatu stranicu  $(213):(525) = c'$ ;

traži se  $b'(101):(525)$ , koji daje znak za trijakisoktaedar (hkh).

Primjer:  $c = 15^\circ 30' 4''$ ;  $c' = 10^\circ 53' 36''$

$$\cotg C = \frac{\sin c'}{\sin c} = \frac{\sin(213):(525)}{\sin(213):(203)} = \frac{\sin 10^\circ 53' 36''}{\sin 15^\circ 30' 4''}$$



Sl. 250.

$$\begin{aligned} \log \sin 10^\circ 53' 36'' &= 9.27642 \\ \log \sin 15^\circ 30' 4'' &= 9.42693 \\ \log \cotg C &= 9.84949 \\ C &= 54^\circ 44' 7'' \\ C + C' &= 89^\circ 59' 60'' \\ C &= 54^\circ 44' 7'' \\ C' &= 35^\circ 15' 53''. \end{aligned}$$

Trokut (sl. 150.) (213), (203), (101) daje znak za tetrakisheksaedar (203)... (k0h) (sl. 251.),  
 $\sin b$  (203) : (101) =  $\text{tg } c$  (203) : (213) ·  $\cotg C = \text{tg } 15^\circ 30' 4'' \cdot \cotg 54^\circ 44' 7''$

$$\begin{aligned} \log \text{tg } 15^\circ 30' 4'' &= 9.44302 \\ \log \cotg 54^\circ 44' 7'' &= 9.84949 \\ \log \sin b &= 9.29251 \end{aligned}$$

$b = 11^\circ 18' 35''$ ; to odbijemo od  $\frac{1}{2}$  kuta rompskog dodekaedra (sl. 251.):

$$\begin{aligned} 44^\circ 59' 60'' \\ 11^\circ 18' 35'' \\ 33^\circ 41' 25'' \end{aligned}$$

51.  $\log \text{tg } 33^\circ 41' 25'' = 9.82391$ ; od toga je numerus =  $0.6666 = \frac{2}{3} = (203)$ .

Trokut (sl. 250.) (101), (525), (213) daje znak za trijakisoktaedar (525)... (hkh)

$$\begin{aligned} \sin b \text{ (101) : (525)} &= \frac{\text{tg } c' \text{ (525) : (213)}}{\text{tg } C' \text{ (101)}} = \frac{\text{tg } 10^\circ 53' 36''}{\text{tg } 35^\circ 15' 53''} \\ \log \text{tg } 10^\circ 53' 36'' &= 9.28432 \\ \log \text{tg } 35^\circ 15' 53'' &= 9.84949 \\ \log \sin b' \text{ (101) : (525)} &= 9.43483 \\ b' \text{ (101) : (525)} &= 15^\circ 47' 34''; \text{ to ćemo odbiti od polovice} \end{aligned}$$

oktaedrova kuta:

$$\begin{aligned} (101) : (111) &= 35^\circ 15' 53'' \\ (101) : (525) &= 15^\circ 47' 34'' \\ (525) : (111) &= 19^\circ 28' 19''. \end{aligned}$$

Da odredimo znak za trijakisoktaedar, riješit ćemo trokut (001), (101), (hkh) tražeći  $\text{tg } C$ :

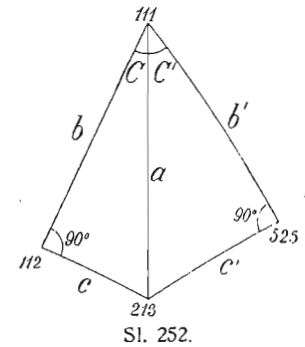
$$\begin{aligned} \text{tg } C &= \frac{\text{tg } b'}{\sin b} = \frac{\text{tg } 15^\circ 47' 34''}{\sin 45^\circ} \\ \log \text{tg } 15^\circ 47' 34'' &= 9.45153 \\ \log \sin 45^\circ &= 9.84949 \\ \log \text{tg } C &= 9.60204; \end{aligned}$$

numerus od  $0.60204 - 1 = 0.4 = \frac{2}{5}$ ; dakle je znak tetrakisheksaedra (520), a znak trijakisoktaedra (525).

f) Neka se nadje znak (hkl), ako je mjerena kut najduljega brida (213) : (123) ili njegova polovica (213) : (112) =  $c$  i najkraćega brida (213) : (312) ili njegova polovica (213) : (525) =  $c'$ ; ova dva luka  $c$  i  $c'$  tvore sa polom (111) dva pravokutna sferna trokuta (213), (111), (525) i (213), (111), (112), koji imaju zajedničku hipotenuzu (213) : (111) =  $a$  (sl. 252.); sinusi lukova  $c$  i  $c'$  odnose se kao sinusi njihovih suprotnih kutova  $C$  i  $C'$ , kojih je zbroj u ovom slučaju  $60^\circ$ , jer se nalaze na presjecištu zona, koje teku plohom oktaedra; dakle je

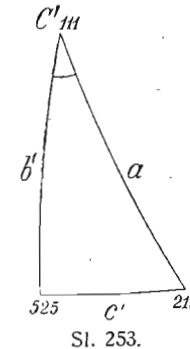
$$\begin{aligned} \frac{\sin C'}{\sin C} &= \frac{\sin c'}{\sin c} \\ C + C' &= 60^\circ \\ \cotg C &= \frac{\sin c'}{\sin 60^\circ \cdot \sin c} + \frac{1}{\sqrt{3}} \end{aligned}$$

Kad iz te formule nadjemo  $C$  i  $C'$ , riješena su opet dva sferna trokuta i simboli trijakisoktaedra i deltoidskog ikozitetraedra, koji u svakom slučaju određuju simbole heksakisoktaedra. Za trijakisoktaedar imamo trokut (111), (525), (213) (sl. 253.), u kom je poznat  $C'$  (111) iz gornje formule i zadati luk (213) : (525) =  $c'$ ; traži se luk (111) : (525) =  $b'$ , koji daje znak za trijakisoktaedar. Za deltoidski ikozitetraedar imamo trokut (111), (112), (213) (sl. 254.), u kom je poznat  $C$  (111) iz gornje formule i zadati luk (213) : (112) =  $c$ ; traži se luk (111) : (112), koji daje znak za deltoidski ikozitetraedar.



Primjer:

$$\begin{aligned} c &= 10^\circ 53' 35''; c' = 10^\circ 53' 36'' \\ \cotg C &= \frac{\sin 10^\circ 53' 36''}{\sin 60^\circ \cdot \sin 10^\circ 53' 35''} + \frac{1}{\sqrt{3}} \\ \log \sin 10^\circ 53' 36'' &= 9.27642 \\ \log \sin 60^\circ &= 9.93753 \\ \log \sin 10^\circ 53' 35'' &= 9.27641 \\ &9.21394 \\ &9.27642 \\ &9.21394 \\ &0.06248; \end{aligned}$$



Sl. 253.

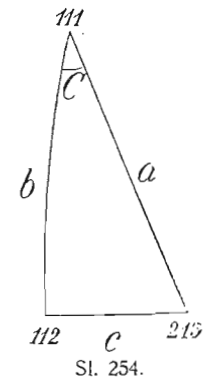
numerus od 0.06248 = 1.1547;

$$\cotg C = 1.1547 + \frac{1}{\sqrt{3}}$$

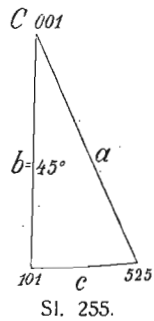
$$\begin{aligned} \log 1 &= 0.00000 \\ \log \sqrt{3} &= 0.23856 \\ &9.76144; \\ \text{numerus od } 0.76144 - 1 &= 0.57735 \\ \cotg C &= 1.1547 + 0.57735 \\ \cotg C &= 1.73205 \\ \log \cotg C &= 0.23856 \\ C &= 30^\circ \\ C + C' &= 60^\circ \\ C' &= 30^\circ. \end{aligned}$$

Trokut (111), (525), (213) daje znak za trijakisoktaedar:

$$\begin{aligned} \sin b' \text{ (111) : (525)} &= \frac{\text{tg } c' \text{ (525) : (213)}}{\text{tg } C' \text{ (111)}} = \frac{\text{tg } 10^\circ 53' 36''}{\text{tg } 30^\circ} \\ \log \text{tg } 10^\circ 53' 36'' &= 9.28432 \\ \log \text{tg } 30^\circ &= 9.76144 \\ \log \sin b' &= 9.52288 \end{aligned}$$



Sl. 254.



$$\begin{aligned} b' (111) : (525) &= 15^\circ 28' 16'' \\ (101) : (111) &= 35^\circ 15' 53'' \\ (111) : (525) &= 19^\circ 28' 16'' \\ (101) : (525) &= 15^\circ 47' 37'' \end{aligned}$$

Tako smo došli do trokuta (001), (101), (525) (sl. 255.), u kom je poznata stranica  $c = 15^\circ 47' 37''$  i stranica  $b = 45^\circ$ ; traži se  $\text{tg } C$ , koji daje znak za trijakisoktaedar. Dakle:

$$\begin{aligned} \text{tg } C &= \frac{\text{tg } c}{\sin b} = \frac{\text{tg } 15^\circ 47' 37''}{\sin 45^\circ} \\ \log \text{tg } 15^\circ 47' 37'' &= 9.45156 \\ \log \sin 45^\circ &= 9.84949 \\ \hline \log \text{tg } C &= 9.60207; \end{aligned}$$

numerus od  $0.60207 - 1 = 0.4000 = \frac{2}{5}$ ; dakle je znak za tetrakisheksaedar (520), a znak za trijakisoktaedar (525).

Trokut (sl. 254.) (111), (112), (213) daje znak za deltoidski ikozitetraedar:

$$\begin{aligned} \sin b (111) : (112) &= \frac{\text{tg } c (112) : (213)}{\text{tg } C (111)} = \frac{\text{tg } 10^\circ 53' 35''}{\text{tg } 30^\circ} \\ \log \text{tg } 10^\circ 53' 35'' &= 9.28431 \\ \log \text{tg } 30^\circ &= 9.76144 \\ \hline \log \sin b &= 9.52287 \\ b (111) : (112) &= 19^\circ 28' 15'' \\ (001) : (111) &= 54^\circ 44' 7'' \\ (111) : (112) &= 19^\circ 28' 15'' \\ (001) : (112) &= 35^\circ 15' 52'' \end{aligned}$$

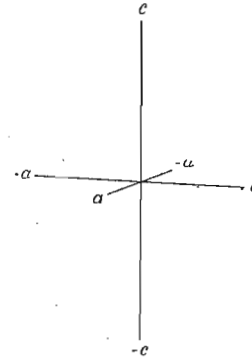
Tako smo došli do trokuta (001), (112), (102) (sl. 241.), u kom je poznata stranica  $a = 35^\circ 15' 52''$  i kut kod  $C = 45^\circ$ ; traži se  $\text{tg } b$ , koji daje znak za tetrakisheksaedar ( $k0h$ ), koji otupljuje brid deltoidskog ikozitetraedra ( $kk\bar{h}$ ): ( $kk\bar{h}$ ). Dakle:

$$\begin{aligned} \text{tg } b &= \text{tg } a \cdot \cos C = \text{tg } 35^\circ 15' 52'' \cdot \cos 45^\circ \\ \log \text{tg } 35^\circ 15' 52'' &= 9.84948 \\ \log \cos 45^\circ &= 9.84949 \\ \hline \log \text{tg } b &= 9.69897; \end{aligned}$$

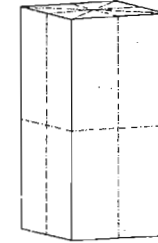
numerus od  $0.69897 - 1 = 0.5000 = \frac{1}{2}$ ; dakle je znak za tetrakisheksaedar (102), a znak za deltoidski ikozitetraedar (112).

**39. Tetragonski ili kvadratični sustav** možemo vrlo lako izvesti iz tesimalnoga sustava; zamislimo samo, da je jedna od osi tesimalnoga sustava postala duža ili kraća od druge dvije osi. Prema tome tetragonski sustav obuhvata one kristalne forme, koje imaju tri među sobom okomite osi (sl. 256.); dvije su horizontalne, jednake dužine, a označujemo ih slovom  $a$ . Obje te osi zovemo *suosima*; jedna se od njih pruža od lijeva na desno, druga je na nju okomita i uperena spram posmatrača, treća je os duža ili kraća od obje suosi; ona je uvijek vertikalna; zovemo je *glavnom osi* i bilježimo slovom  $c$ . Kako je glavna os promjenljiva, moramo za svaku

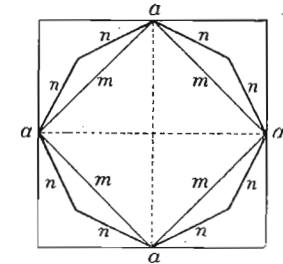
mineralnu vrstu, koja se kristalizuje u tetragonskom sustavu naći veličinu glavne osi, t. j. naći njen odnos spram suosi. Budući da su nam osni kutovi (rogljevi) poznati  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ , naći ćemo osni odnos  $a : a : \frac{c}{a}$  ili  $1 : 1 : \frac{c}{a}$ , ako obavimo mjerenje samo jednoga kristalnoga kuta (ugla).



Sl. 256.



Sl. 257.



Sl. 258.

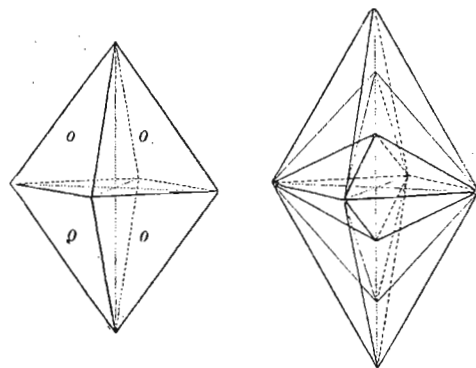
**I. Holoedrija** (6. kristalni razred) tetragonskoga sustava karakterizovana je najvećim stupnjem simetrije, što ga može da ima osni krst toga sustava. Taj osni krst izveli smo iz osnovnoga krsta tesimalnoga sustava tako, da je jedna os postala duža ili kraća, a to je bio uzrok, da se je promijenio i stupanj simetrije: tetragonske forme imaju 5 ravnina simetrije (sl. 257.). Jedna je ravnina simetrije glavna  $PG$ , okomita je na glavnu os  $c$ , dakle horizontalna i leži u ravnini suosi; druge 4 su sporedne ravnine simetrije  $PS$ ; one su vertikalne i sijeku se pod kutom od  $45^\circ$  tako, da 2 od njih prolaze kroz glavnu os i suosi, a druge 2 kroz glavnu os i između suosi. Tetragonske forme imaju 5 osi simetrije. Jedna tetragonska os simetrije jest vertikalna i podudara se sa glavnom osi; ostale 4, digonske osi simetrije, jesu horizontalne i leže u ravnini suosi; 2 od njih teku zajedno sa suosima, a druge 2 sredinom između suosi. Kako su se holoedrijske tetragonske forme razvile sa paralelnim plohama iste vrste, imaju i centar simetrije  $C$ .

Elementi simetrije u holoedriji tetragonskoga sustava jesu: dakle: 1 horizontalna  $PG$  i 2+2 vertikalne  $PS$ ,  $1L^4$  vertikalna i  $2L^2 + 2L^2$  horizontalne i  $C$ .

Položaj je kristalnih ploha prema osima sličan onome u tesimalnom sustavu, pa zato i tetragonski sustav ima 7 vrsta kristalnih forma. Ali kako je jedna os (glavna os  $c$ ) postala duža ili kraća od obje suosi, likovi su tetragonskoga sustava primili svoj zaseban četverostrani (ili osmostrani) oblik, po kojemu se također lako razlikuju od tesimalnih likova (sl. 258.).

Ako promotrimo položaj, što ga zauzimaju plohe tetragonskih likova prema osima, naći ćemo ove kristalne forme:

1. *Tetragonska bipiramida I. reda ili protopiramida*. Ovu piramidu možemo izvesti iz oktaedra na taj način, da jednu os učinimo većom ili manjom. Tetragonska je dakle piramida lik, u kom su plohe tako položene, da sijeku obje suosi u jednakoj udaljenosti, a glavnu os u većoj ili manjoj udaljenosti, u udaljenosti  $m$  (sl. 259.). Parametarski joj je dakle odnos  $a : a : mc$ , gdje je koeficijent  $m$  racionalan, obično mali broj, na pr.  $(a : a : \frac{1}{4}c)$ ,



Sl. 259.

Sl. 260.

$(a : a : 2c)$  i t. d. Uz ovakav parametarski odnos zahtijevaju  $5P$ , da se razvije lik sa 8 ploha, t. j. bipiramida,<sup>1)</sup> u kojoj 4 plohe pripadaju gornjem polu, a 4 donjem polu. Plohe sastavljaju isto-kračan trokut, te su monosimetrijske. U uglovima (rogljevima), kroz koje izlazi glavna os, sastaju se po 4 ovršna brida. Suosi izlaze kroz 4 ugla, gdje se sijeku po 2 osnovna brida.

Iz parametarskoga odnosa vidi se, da je broj tetragonskih piramida neograničen; ima ih šiljatijih i tupljih (sl. 260.). Ako je  $m > 1$ , piramide su šiljatije, ako je  $m < 1$ , one su tuplje; bude li  $m$  velik skoro kao 1, t. j. približi li se glavna os svojom dužinom posvema suosima, postaje protopiramida gotovo posve jednaka oktaedru; kad bi bio  $m = 1$ , prešla bi ona u oktaedar.

Parametarski odnos  $a : a : mc$  jest općeni odnos za neku protopiramidu; u njemu je sadržan čitav niz protopiramida. Kad određujemo tetragonski kristal, odabiramo jednu od protopiramida za osnovnu piramidu sa osnim odnosom  $a : a : c$ ; sve osale piramide I. reda (a i druge forme) svadjamo na osnovnu piramidu i one sijeku glavnu os u većoj ili u manjoj udaljenosti, negoli je sijече osnovna piramida, na pr.  $(a : a : 3c)$ ,  $(a : a : \frac{3}{5}c)$  i t. d.

Weissov je znak za osnovnu piramidu  $(a : a : c)$ , a općeni znak za neku drugu protopiramidu  $(a : a : mc)$ . Naumannov je znak za osnovnu piramidu  $P$ , a općeni znak za neku drugu protopiramidu  $mP$ ; Millerov je znak za osnovnu piramidu  $\{111\}$  a općeni znak za druge protopiramide  $\{hhl\}$ .

2. *Tetragonska deuteropiramida ili bipiramida II. reda* svojim oblikom ni u čemu se ne razlikuje od protopiramide; oblikom su dakle posvema

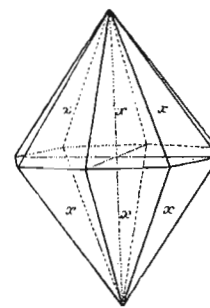
<sup>1)</sup> Tetragonske su piramide bipiramide; ali kako među kristalizovanim mineralima dolaze vrlo rijetko jednostavne piramide (samo u hemimorfiji), nego su najčešće bipiramide, običavamo i bipiramide zvati jednostavno piramidama.

jednake, ali nisu jednake svojim položajem spram suosi. Jedna je spram druge zaokrenuta za  $45^\circ$ , pa je prema tome položaj deuteropiramida takav, da svaka od njih sijече jednu suos u udaljenosti 1, sa drugom je suos paralelna, a glavnu os sijече u udaljenosti  $m$ . Prema tome suos prolaze sredinom osnovnih bridova (sl. 261.). Općeni joj je parametarski odnos  $a : \infty a : mc$ , gdje je koeficijent  $m$  racionalan broj, na pr.  $(a : \infty a : \frac{1}{3}c)$ ,

$(a : \infty a : 3c)$  i t. d. Općeni joj je simbol po Weissu  $(a : \infty a : mc)$ , po Naumannu  $mP_\infty$  (za osnovnu  $P_\infty$ ) po Milleru  $\{h0l\}$  (za osnovnu  $\{101\}$ ). Kako je glavna os promjenljiva, duža ili kraća, dakako da je i broj deuteropiramida neograničen; ima ih šiljatijih i tupljih. Ako je  $m > 1$ , piramide su šiljatije, ako je  $m < 1$ , piramide su tuplje.

Kako je deuteropiramida svojom formom posve jednaka protopiramidi, ne mogu se one, ako dolaze same za sebe kao jednostavne forme, nikako jedna od druge razlikovati; samo kad dolaze u kombinaciji, poznamo ih po njihovu položaju spram kristalnih osi.

3. *Ditetragonska bipiramida* sastavljena je od 16 ploha; 8 ploha pripadaju gornjem, 8 donjem polu. Svaka ploha sijече jednu suos u udaljenosti 1, drugu suos u udaljenosti  $n$ , a glavnu os u udaljenosti  $m$  (sl. 262.). Parametarski joj je dakle odnos  $a : na : mc$ , gdje su koeficijenti  $n$  i  $m$  racionalni brojevi, na pr.  $(a : 3a : 2c)$ ,  $(9a : 5a : \frac{3}{2}c)$  i t. d. Plohe sastavljaju raz-

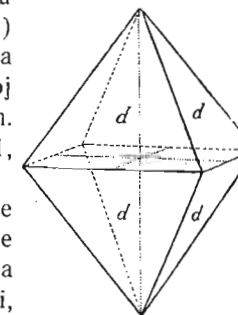


Sl. 262.

nostraničan trokut, te su asimetrijske. Od 24 brida 8 osnovnih leže u horizontalnoj ravnini simetrije, a 8 oštih i 8 tupih u vertikalnim ravninama simetrije. U 2 ovršna ugla (roglja) sijeku se po 8 ovršnih bridova; u 8 osnovnih uglova (rogljeva) sijeku se po 2 ovršna i po 2 osnovna brida. Osnovni su uglovi (rogljevi) od dvije vrste: 4 su oštra, 4 tupa. Suosi izlaze kroz oštre uglove (rogljeve).

Ditetragonska piramida, koja bi imala svih 16 ovršnih bridova jednake, nije moguća među kristalima, jer bi imala iracionalan koeficijent  $n = 1 + \sqrt{2}$ .

Kako je glavna os duža ili kraća od suosi, broj je ditetragonskih piramida takodjer neograničen; ako je  $m > 1$ , one su šiljatije, ako je  $m < 1$ , one su tuplje. Koeficijent  $n$  uvijek je veći od 1; bude li  $n = 1$ , prijeći će ditetragonska piramida u protopiramidu  $mP$ ; bude li  $n = \infty$ , prijeći će ona u deuteropiramidu  $mP_\infty$ . Weissov joj je općeni znak  $(a : na : mc)$ , Naumannov  $mP_n$ , Millerov  $\{hkl\}$ .



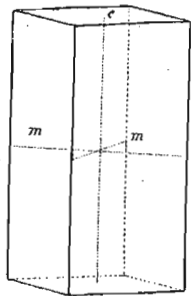
Sl. 261.

Ditetragonske bipiramide  $mP_n = \{hkl\}$ , koje leže u zoni  $[111, 100]$  imaju  $n = m$ , t. j.  $mP_m$ ; na pr.  $2P_2 = \{211\}$ . Ditetragonske bipiramide  $mP_n = \{hkl\}$ , koje leže u zoni  $[110, 101]$ , imaju  $n = \frac{m}{m-1}$ ; na pr.  $3P_{\frac{3}{2}} = \{321\}$ . Ditetragonske bipiramide  $mP_n = \{hkl\}$ , koje leže u zoni  $[111, 201]$ , imaju  $n = \frac{m}{2-m}$ ; na pr.  $\frac{3}{2}P_3 = \{312\}$ . Ditetragonske bipiramide  $mP_n = \{hkl\}$ , koje leže u zoni  $[201, 110]$ , imaju  $n = \frac{m}{m-2}$ ; na pr.  $4P_2 = \{421\}$ .

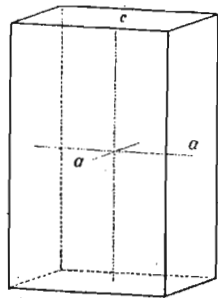
Iz tetragonskih piramida mogu postati prizme na taj način, da koeficijent  $n$  postane neizmerno velik; u tom će slučaju jedna ploha tih piramida zauzeti paralelan položaj sa glavnom osi, a druge dvije plohe zadržat će isti položaj, koji su imale i u piramidi.

4. *Tetragonska protoprizma ili prizma I. reda.* Kad u tetragonskoj protopiramidi postaje glavna os sve duža, postaje i piramida sve šiljatija, pa kad se glavna os produži, da bude neizmerno velika, prešla je protopiramida u protoprizmu (sl. 263.), u lik sa 4 plohe, koje su disimetrijske, sa parametarskim odnosom  $a : a : \infty c$ . Položaj joj je spram osi takav, da suosi prolaze sredinom bridova. Znak joj je po Weissu ( $a : a : \infty c$ ), po Naumannu  $\infty P$ , po Milleru  $\{110\}$ .

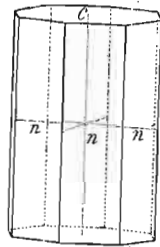
5. *Tetragonska deuteroprizma ili prizma II. reda* postaje na isti način iz deuteropiramide, kao što je protoprizma postala iz protopiramide (sl. 264.). Znak joj je po Weissu ( $a : \infty a : \infty c$ ), po Naumannu  $\infty P_{\infty}$ , po Milleru  $\{100\}$ .



Sl. 263.



Sl. 264.



Sl. 265.

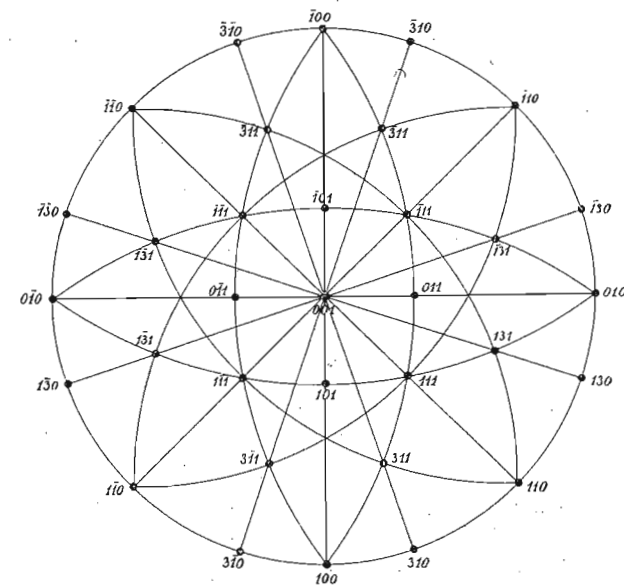
Kako se deuteropiramida razlikuje od protopiramide samo svojim položajem spram suosi, tako se razlikuje i deuteroprizma (suosi joj prolaze sredinom ploha) od protoprizme; oba su ta lika dakle svojom formom potpuno jednaka, pa ih samo u kombinacijama, gdje se vidi njihov položaj spram suosi, prepoznamo jedan od drugoga.

6. *Ditetragonska prizma* postaje iz ditetragonske piramide na jednak način kao što su postale iz svojih piramida protoprizma i deuteroprizma.

Sastavljena je od 8 ploha, koje su monosimetrijske, a sijeku se u 8 bridova, od kojih su 4 oštra, 4 tupa; u oštima izlaze suosi (sl. 265.). Općeni joj je znak po Weissu ( $a : na : \infty c$ ), po Naumannu  $\infty P_n$ , po Milleru  $\{hk0\}$ . Ako bude koeficijent  $n = 1$ , prijeći će ditetragonska prizma u protoprizmu  $\infty P$ ; bude li  $n = \infty$ , prijeći će i ditetragonska prizma u deuteroprizmu  $\infty P_{\infty}$ , t. j. između protoprizme i deuteroprizme, kao krajnjih članova, leži čitav niz deuteroprizmi, dok je protoprizma i deuteroprizma samo jedna.

7. *Osnovni ili bazni pinakoid.* Još je samo jedan način, kako mogu plohe tetragonskih forma zauzeti položaj prema osima: plohe mogu biti paralelne sa obje suosi, a glavnu os sijeku u udaljenosti nul (0), t. j. na njoj su okomite (sl. 263.—265. ploha c). Svaki lik sa plohama takva položaja zovemo osnovnim ili baznim pinakoidom i Naumann ga označuje znakom  $0P$ .

Tetragonski bazni pinakoid sastavljen je od 2 paralelne plohe, koje su tetrasimetrijske i teku paralelno sa glavnom ravninom simetrije. Možemo ga izvesti iz ma koje god tetragonske bipiramide na taj način, da glavna os postaje sve manja, pri čem će bipiramida postajati sve tuplja, pa kad glavna os padne na nul (0), piramida će prijeći u pinakoid. Možemo osnovni pinakoid izvesti i tako iz piramide, da njihove suosi



Sl. 266.

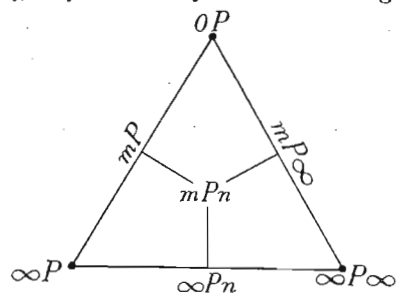
postanu neizmerno velike; dobit ćemo opet isti lik, kao da smo glavnu os smanjili na nul (0); Weiss označuje zato osnovni pinakoid znakom ( $\infty a : \infty a : c$ ), a Miller  $\{001\}$ .

Između prizme i osnovnoga pinakoida, kao krajnjih članova, nalazi se čitav niz piramida; one, koje se približuju prizmi, šiljatije su, one, koje se primiču pinakoidu,

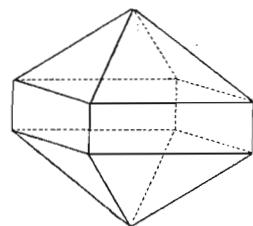
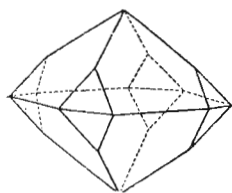
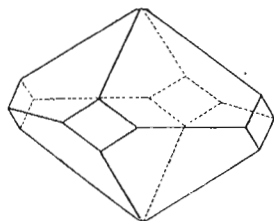
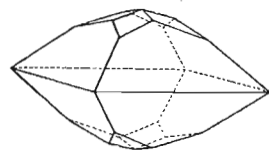
tuplje su; tetragonskih piramida može biti dakle neograničen broj, dok je osnovni pinakoid, kako se razabira iz položaja njegovih ploha, samo jedan. Osnovni pinakoid je lik, kako smo kazali, samo od 2 plohe; on je t. zv. otvorena forma, ne ograničuje kristalan prostor sa svih strana, zato ne može doći nikada sam za sebe kao jednostavna kristalna forma. Kada se pojavljuje na kristalima, pojavljuje se uvijek samo kao kombinacija sa piramidama (vidi u sl. 263., 264., 265. ploha c). Isto su tako i prizme otvorene forme, pa ne dolaze ni one nikada same za sebe kao jednostavne forme, nego samo kao kombinacije sa piramidama ili sa pinakoidom.

Od minerala, koji se kristalizuju u tetragonskoj holoedriji, spomenut ćemo cirkon, rutil i kasiterit.

Sve forme tetragonske holoedrije daju se izvesti jedna iz druge. Iz stereografske projekcije (sl. 266.) vrlo se lijepo razabira njihov međusobni položaj, koji se također vidi na triangularnoj slici 267.



Sl. 267.

 $\{111\}$ ,  $\{110\}$   
Sl. 268. $\{111\}$ ,  $\{201\}$   
Sl. 269. $\{111\}$ ,  $\{110\}$   
Sl. 270. $\{hhl\}$ ,  $\{h0l\}$   
Sl. 271.

Na sl. 268.—271. vidimo kombinacije tetragonskih holoedara.

*Hemiedrije tetragonskoga sustava.* Gubitkom nekih elemenata simetrije, raspadaju se tetragonski holoedri u hemiedre. Po načinu gubitka tih elemenata postaju od holoedara četiri vrste hemiedrije i to:

*II. Hemimorfija holoedrije* (7. kristalni razred) postaje na taj način, da se izgubi glavna ravnina simetrije; to bude uzrok, da se izgube  $4L^2$  i  $C$ . Prema tome forme ovoga kristalnoga razreda imaju  $2PS + 2PS$  i  $1L^4$ .

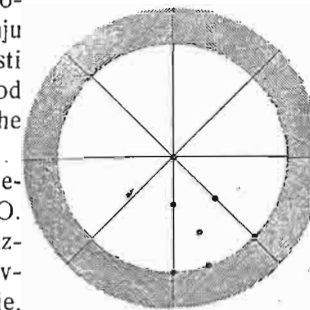
Iz stereografske projekcije (sl. 272.) razabiramo, da će prizme, pošto leže na glavnoj ravnini simetrije, koja se gubi, ostati geometrijski nepro-

mijenjene; tek neka fizička svojstva otkrit će njihovu kristalografsku hemimorfiju. Sve tri bipiramide, protopiramida, deuteropiramida i ditetragonska piramida, raspast će se u po dvije korelatne piramide (slika 132. i 133.); u gornju i donju. Isto će se tako i bazni pinakoid raspasti u dva *pediona*, t. j. u dvije kristalne forme, od kojih je svaka sastavljena od jedne jedine plohe (sl. 133. ploha c).

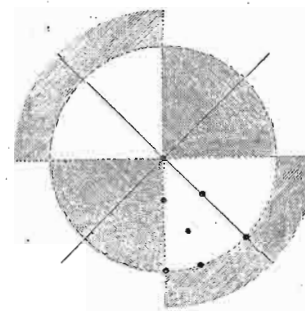
U toj se hemimorfiji kristalizuju neki vještački spojevi, na pr. srebrni fluorid  $AgF \cdot H_2O$ .

*III. Sfenoidska hemiedrije* (8. kristalni razred) postaje iz holoedrije gubitkom glavne ravnine simetrije, dviju sporednih ravnina simetrije, koje prolaze kroz glavnu os i suosni, i gubitkom centra simetrije; izgubile su se i  $2L^2$ . Elementi simetrije ovoga kristalnoga razreda jesu dakle  $2PS$ , koje se sijeku pod kutom od  $90^\circ$ ,  $3L^2$  i to  $1L^2$  vertikalna, koja je ujedno i  $1L^4$  složene simetrije i  $2L^2$  horizontalne.

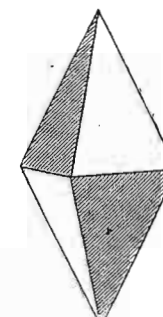
Iz stereografske projekcije (sl. 273.) razabiramo, da će nove likove dati protopiramida i ditetragonska piramida. Od protopiramide (sl. 274.)



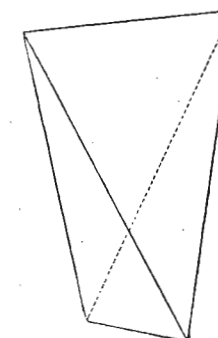
Sl. 272.



Sl. 273.



Sl. 274.



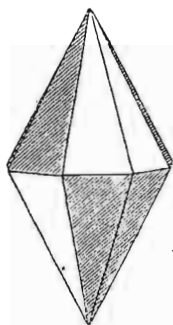
Sl. 275.

postat će dva korelatna *tetragonska bisfenoida* (sl. 275.) pozitivan  $\{hhl\}$  i negativan  $\{h\bar{h}l\}$ , a od ditetragonske bipiramide (sl. 276.) dva korelatna *tetragonska skalenoedra* (sl. 277.), pozitivan  $\{hkl\}$  i negativan  $\{h\bar{k}l\}$ . Pozitivni i negativni likovi ovoga kristalnoga razreda razlikuju se samo svojim položajem spram osi; jedan je spram drugoga zaokrenut za  $90^\circ$ .

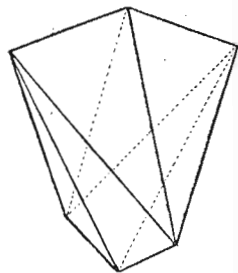
Slike 278.—281. pokazuju, kako u ovoj hemiedriji deuteropiramide i prizme ne mogu dati nove geometrijske likove.

Od minerala kristalizuje se u ovoj hemiedriji na pr. halkopirit.

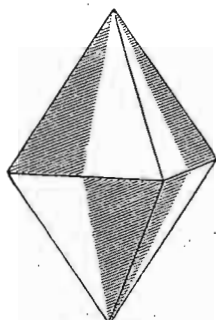




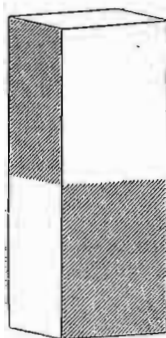
Sl. 276.



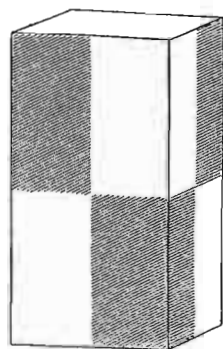
Sl. 277.



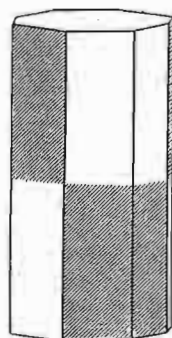
Sl. 278.



Sl. 279.



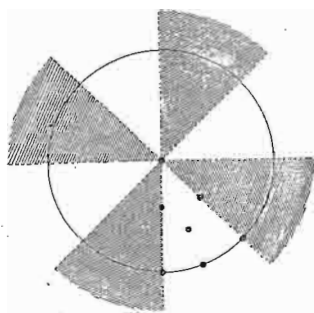
Sl. 280.



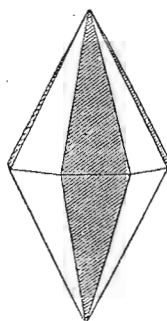
Sl. 281.

IV. Piramidska hemiedrija (9. kristalni razred) ima samo jednu horizontalnu ravninu simetrije PG, zatim  $1L^4$  vertikalnu i C.

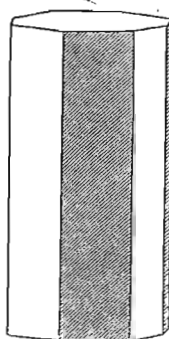
Novo likove daju ditetragonska bipiramida i ditetragonska prizma



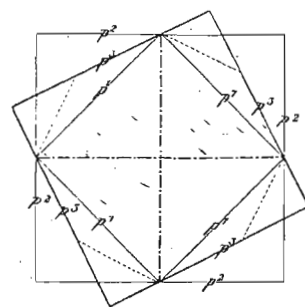
Sl. 282.



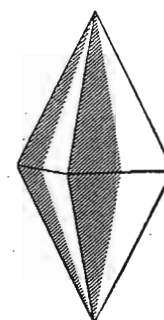
Sl. 283.



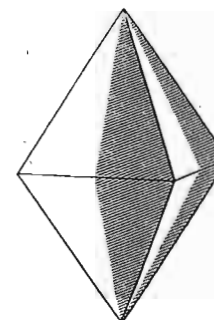
Sl. 284.



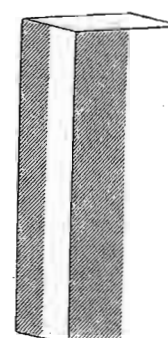
Sl. 285.



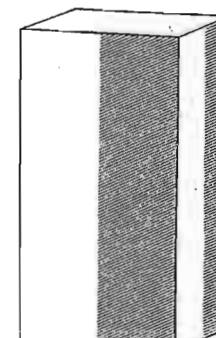
Sl. 286.



Sl. 287.



Sl. 288.



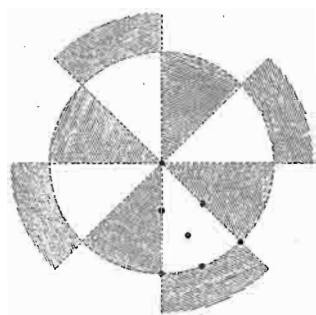
Sl. 289.

(sl. 282.); od ditetragonske bipiramide postaju dvije tetragonske bipiramide III. reda ili tritopiramide sa 8 asimetrijskih ploha  $\{hkl\}$  i  $\{khl\}$ , a od ditetragonske prizme dvije tetragonske prizme III. reda ili tritoprizme  $\{hk0\}$  i  $\{kh0\}$  sa četiri monosimetrijske plohe. I tritopiramida i tritoprizma razlikuje se od protopiramida i protoprizme pa od deuteropiramida i deuteroprizme samo svojim položajem spram suosi (sl. 283., 284., 285.)

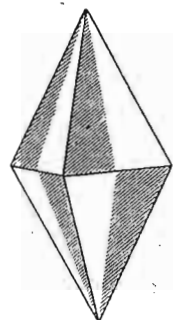
Slike 286.—289. pokazuju, kako proto i deuteropiramida i njihove prizme ne mogu dati nove geometrijske likove.

Od minerala kristalizuje se u ovom kristalnom razredu grupa šelita.

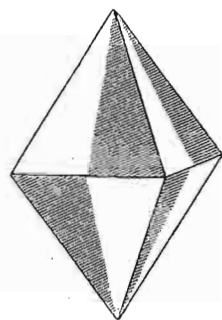
V. Trapezoedrijska hemiedrija (10. kristalni razred) obuhvata tetragonske forme, koje imaju samo  $5L$  i to  $1L^4 + 4L^2$ ; tu su se izgubile dakle sve ravnine simetrije i centar simetrije, pa su forme enantiomorfne. Nove će forme dati samo ditetragonske bipiramide (sl. 290., 294.) i to 2 tetragonska trapezoedra (sl. 293., 295.), desni  $\{hkl\}$  i lijevi  $\{khl\}$ . Ostale su forme geometrijski nepromijenjene (sl. 291., 292. i 296.—298.).



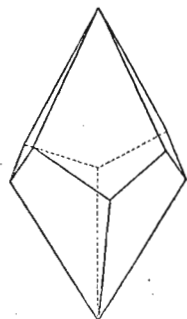
Sl. 290.



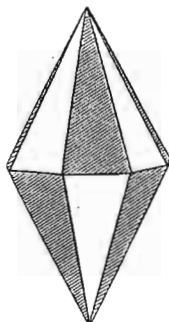
Sl. 291.



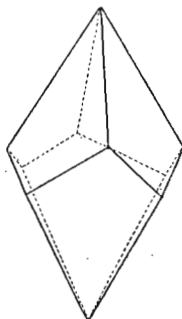
Sl. 292.



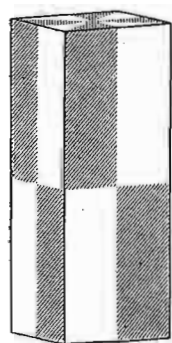
Sl. 293.



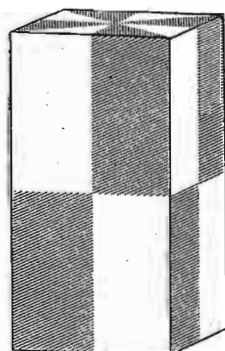
Sl. 294.



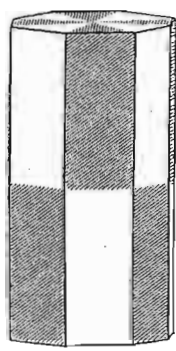
Sl. 295.



Sl. 296.



Sl. 297.



Sl. 298.

U ovom kristalnom razredu kristalizuju se neki vještački spojevi, na pr. nikaljev sulfat.

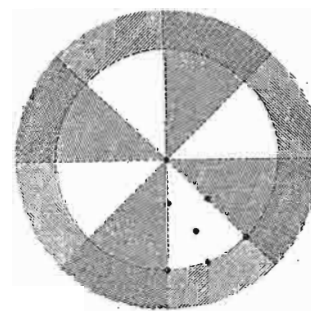
*Tetartoedrija tetragonskoga sustava.* One kristalne klase tetragonske hemiedrije, koje imaju po koju ravninu simetrije, mogu se gubitkom i te ravnine simetrije raspasti u nove likove još nižega stupnja simetrije.

*VI. Hemimorfija piramidske hemiedrije* (11. kristalni razred) obuhvata forme, koje postaju iz piramidske hemiedrije (9. kristalni razred), kad se izgubi PG i C, a ostane samo  $1L^4$ , ili iz hemimorfije holloedrijske (7. kristalni razred) gubitkom  $2PS + 2PS$ . U prvom i drugom slučaju nastaju tetartoedrijske forme, koje imaju samo  $1L^4$ . Forme su enantiomorfne.

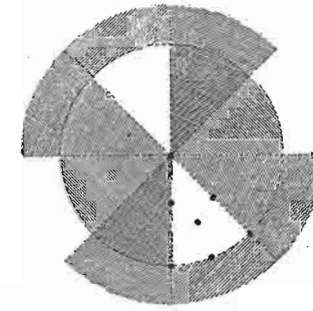
Iz stereografske projekcije hemimorfije piramidske hemiedrije (sl. 299.) vidi se, da će se bipiramide I., II. i III. reda raspasti u po dvije korelatne piramide, gornju i donju, a bazni pinakoid u dva pediona; prizme ostaju nepromijenjene.

Od minerala kristalizuje se u ovom kristalnom razredu vulfenit.

*VII. Sfenoidska tetartoedrija* (12. kristalni razred) obuhvata forme, koje se daju izvesti gubitkom ravnine simetrije iz piramidske hemiedrije (9. kristalni razred) tako, da se u njoj izgubi glavna ravnina simetrije, centar simetrije, a  $1L^4$  da prijedje u  $1L^2$ , koja je ujedno  $1L^4$  složene simetrije; ista će tetartoedrija nastati iz sfenoidske hemiedrije, kad se izgube  $2PS$  i  $2L^2$ , a ostane  $1L^2$  vertikalna, koja je ujedno  $1L^4$  složene



Sl. 299.



Sl. 300.

simetrije. Forme sfenoidske tetartoedrije imaju dakle samo  $1L^2$  vertikalnu, koja je ujedno i  $1L^4$  složene simetrije, pa su prema tome enantiomorfne.

Iz stereografske projekcije (sl. 300.) razabira se, da će se raspasti u nove forme ditetragonska bipiramida u 4 bisfenoida III. reda i to u  $\{hkl\}$  i  $\{khl\}$ , te u  $\{h\bar{k}l\}$  i  $\{k\bar{h}l\}$ ; tetragonska bipiramida I. reda raspast će se u 2 bisfenoida I. reda  $\{hhl\}$  i  $\{h\bar{h}l\}$ ; tetragonska bipiramida II. reda raspast će se u 2 bisfenoida II. reda  $\{h0l\}$  i  $\{0hl\}$ ; ditetragonska prizma raspast će se u tetragonsku prizmu III. reda. U ovom kristalnom razredu razvili su se bisfenoidi i prizme kao forme I., II. i III. reda, a razlikuju se jedni od drugih samo svojim položajem spram suosni. Bisfenoidi II. i III. reda za-

sebne su forme ovog kristalnoga razreda, dok su sve ostale forme geometrijski jednake formama, koje dolaze i u ostalim razredima tetragonskoga sustava. Plohe svih tih forma jesu asimetrijske.

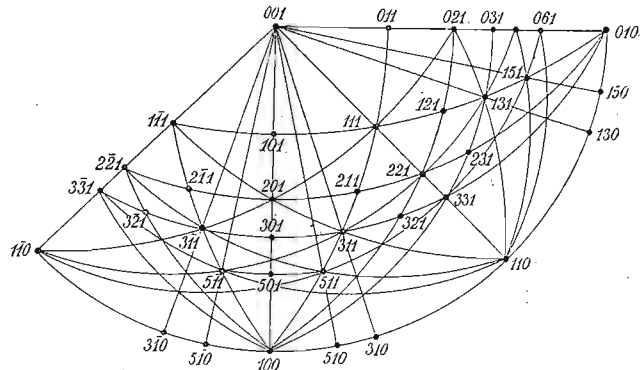
Od vještačkih spojeva kristalizuje se u ovoj tetartoedriji kalcijski aluminosilikat  $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$ , dok od minerala nije ni jedan poznat, koji bi imao ovaj stupanj simetrije.

Tetragonski sustav obuhvata dakle 7 kristalnih razreda, 1 holloedriju, 4 hemiedrije i 2 tetartoedrije.

Od 565 tačno proučenih minerala kristalizuju se u tetragonskom sustavu 32; od toga u holloedriji 20.

**Izračunavanje osnovna odnosa, kutova (uglova) i znakova kristalnih formi tetragonskoga sustava.<sup>1)</sup>**

Kako je u tetragonskom sustavu glavna os  $c$  duža ili kraća, moramo odrediti njen odnos spram osi  $a$ :  $a:c$  ili  $1:\frac{c}{a}$ . Budući da je tu samo jedan element nepoznat, dovoljno je mjerenje samo jednoga kuta, iz koga ćemo izračunati veličinu  $c$ .



Sl. 301.

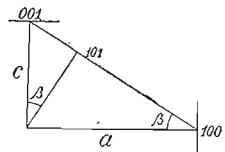
a) Traži se osni odnos  $\frac{c}{a}$  iz deuteropiramide  $\{101\}$  (sl. 301.). Najjednostavnije je, ako uzmemo osnovni brid deuteropiramide  $(101):(\bar{1}01)$ ; njegova polovina  $(001):(101)=b$  daje direktno u tg osni odnos  $\frac{c}{a}$ . Ali možemo mjeriti osnovni brid  $(101):(100)$ , kojega veličinu odbijemo od  $(001):(100)=90^\circ$ , pa ćemo dobiti veličinu  $(001):(101)=b$ , koja u tg daje osni odnos. Dakle (sl. 302.):

$$\beta = (001):(101)$$

$$\text{tg } (001):(101) = \text{tg } \beta = \frac{c}{a}$$

$$c = a \cdot \text{tg } \beta; a = 1$$

$$c = \text{tg } \beta = \text{tg } (001):(101).$$



Sl. 302.

<sup>1)</sup> P. Groth: Physikalische Krystallographie. Vierte Auflage, pag. 576.

Primjer: Mjeren je osnovni brid rutila  $(101):(\bar{1}01) = 65^\circ 34' 32''$ ;  $b = (001):(101) = 32^\circ 47' 16''$ ;  $\log \text{tg } 32^\circ 47' 16'' = 9.80899$ ; numerus od 0.80899 — 1 jest 0.64415...;  $c = 0.64415...$ ; dakle je osni odnos rutila  $a:c = 1:0.64415...$

b) Traži se osni odnos  $\frac{c}{a}$  iz protopiramide  $\{111\}$  ili iz osnovnoga brida  $(001):(111)$  ili iz ovršnoga brida  $(111):(1\bar{1}1)$ .

I. Neka je mjereno osnovni brid  $(111):(110)$ ; tada poznamo luk  $(111):(001)$  kao dopunjak do  $90^\circ$ , pa ćemo riješiti sferni pravokutni trokut  $(001)$ ,  $(101)$ ,  $(111)$  (sl. 303.), u kom je poznata hipotenuza  $a = (001):(111)$  kao mjerena stranica i kut kod C  $(001)$ , koji odgovara luku  $(100):(110) = 45^\circ$ , po formuli:

$$\text{tg } b = (001):(101) = \text{tg } a = (001):(111) \cdot \cos C = (001).$$

Primjer: Mjeren je osnovni brid cirkona  $(111):(110) = 47^\circ 50'$ ; dopunjak toga kuta do  $90^\circ$  jest:

$$(001):(110) = 90^\circ \quad \text{ili} \quad 89^\circ 60'$$

$$(111):(110) = 47^\circ 50' \quad \text{ili} \quad 47^\circ 50'$$

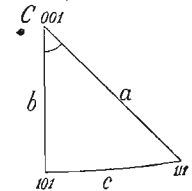
$$(001):(111) = 42^\circ 10' = a \quad 42^\circ 10'$$

$$\text{tg } b = \text{tg } a \cdot \cos C = \text{tg } 42^\circ 10' \cdot \cos 45^\circ$$

$$\log \text{tg } a = (001):(111) = 42^\circ 10' = 9.95698$$

$$\log \cos C = (001) = 45^\circ = 9.84949$$

$$\log \text{tg } b = (001):(101) = 9.80647;$$



Sl. 303.

numerus od 0.30647 — 1 jest 0.6404...;  $c = 0.6404...$ ; dakle je osni odnos cirkona  $a:c = 1:0.6404...$

2. Mjeren je ovršni brid  $(111):(1\bar{1}1)$ ; njegova je polovina  $(111):(101)$ , a to je jedna stranica sfernoga pravokutnoga trokuta  $(001)$ ,  $(101)$ ,  $(111)$ , u kom je poznata mjerena stranica  $c = (101):(111)$  i kut kod C  $(001) = 45^\circ$  kao suprotan kut luka  $(100):(110)$ ; taj ćemo trokut riješiti po formuli (sl. 303.)  $\sin b = (001):(101) = \text{tg } c = (101):(111) \cdot \cotg C = (001)$ .

Primjer: Mjeren je ovršni brid cirkona  $(111):(1\bar{1}1) = 56^\circ 40' 26''$ ; njegova je polovina  $(101):(111) = 28^\circ 20' 13''$ .

$$\sin b = \text{tg } 28^\circ 20' 13'' \cdot \cotg 45^\circ$$

$$\log \text{tg } 28^\circ 20' 13'' = 9.73182$$

$$\log \cotg 45^\circ = 0.00000$$

$$\log \sin b = (001):(101) = 9.73182$$

$$b = 32^\circ 38' 6''$$

$$\log \text{tg } 32^\circ 38' 6'' = 9.80645;$$

numerus od 0.80645 — 1 jest 0.6404...;  $c = 0.6404...$ ; dakle je osni odnos  $a:c = 1:0.6404...$

Isti sferni pravokutni trokut  $(001)$ ,  $(101)$ ,  $(111)$  može se upotrijebiti, ako želimo iz osnoga odnosa, t. j. iz luka  $(001):(101)$  izračunati obje stranice, t. j. kut osnovnoga i ovršnoga brida protopiramide  $\{111\}$ .

c) Traži se znak deuteropiramide  $\{h0l\}$  iz osnovnoga brida  $(h0l):(001)$  ili iz ovršnoga brida protopiramide  $(hhl):(hhl)$ .

Da nadjemo znak  $(h0l)$ , naći ćemo najprije za tu piramidu  $\{h0l\}$  osni odnos  $a:c$ , koji ćemo podijeliti sa osnim odnosom osnovne piramide  $a:c$ ; osni odnos  $a:c$  naći ćemo na poznati način iz deuteropiramide i to iz osnovnoga brida  $(001):(h0l)$ .

I. Mjeren je na pr. kod polijanita osnovni brid  $(h0l):(001) = 53^\circ 3'$ ; osni je odnos polijanita  $a:c = 1:0.66467...$ ;  $(h0l) = ?$

$$\operatorname{tg} b (001) : (h0l) = c'$$

$\log \operatorname{tg} b = \log \operatorname{tg} 53^\circ 3' = 0.12367$ ; numerus od toga je 1.3294; osni odnos za (h0l) jest dakle  $c' = 1.3294$ . Nadjeni  $c' = 1.3294$  razdijelit ćemo sa osnim odnosom osnovne forme polijanita, gdje je  $c = 0.66467 \dots$  t. j.  $c' : c$  ili  $1.3294 : 0.66467 = 2$ .

Kod forme {h0l} je os c dvaput tako velika kao kod osnovne deuteropiramide ( $a : \infty a : c$ ); dakle je traženi znak deuteropiramide {h0l} = ( $a : \infty a : 2c$ ) = {201}, a za protopiramidu {hhl} = ( $a : a : 2c$ ) = {221}.

2. Mjeren je ovršni brid protopiramide (hhl) : (hhl). Da nadjemo znak i za protopiramidu {hhl} i za deuteropiramidu {h0l}, koja otupljuje ovršne bridove protopiramide (hhl), prijeći ćemo u zonu deuteropiramide, koju ćemo riješiti na malo čas opisati način pod 1.

Primjer: Mjeren je ovršni brid protopiramide polijanita (hhl) : (hhl) =  $77^\circ 15' 30''$ ; polovica njegova (hhl) = (h0l) =  $38^\circ 37' 45'' = c$ .

$$\sin b = \operatorname{tg} c \cdot \operatorname{cotg} C = \operatorname{tg} 38^\circ 37' 45'' \cdot \operatorname{cotg} 45^\circ$$

$$\log \operatorname{tg} 38^\circ 37' 45'' = 9.90261$$

$$\log \operatorname{cotg} 45^\circ = 0.00000$$

$$\log \sin b = 9.90261$$

$$b = 53^\circ 2' 46''$$

$$\operatorname{tg} b (001) : (h0l) = c' \text{ (osni odnos)}$$

$$\log \operatorname{tg} b = 0.12361$$

$$\text{numerus od } 0.12361 \text{ jest } 1.329 \dots = c'$$

$$c' : c$$

$1.329 : 0.664 = 2$ ; vidi dalje rješenje kod 1! Dakle je znak

deuteropiramide {h0l} = {201}, a protopiramide {hhl} = {221}.

d) Traži se kut piramide I. i II. reda iz zaatoga znaka. Da taj kut nadjemo, mora biti poznat osni odnos  $a : c$ .

1. Zadat je znak deuteropiramide (301) polijanita, neka se nadje kut (001) : (301); (301) = ( $a : \infty a : 3c$ ). Sad ćemo pomnožiti osni odnos polijanita  $c = 0.66467$  sa 3 (veličina osi  $c'$ ) = 1.99401; 1.99401 jest numerus logaritma 0.29973.

$$\log \operatorname{tg} (001) : (301) = 0.29973$$

$$(001) : (301) = 63^\circ 21' 58''$$

2. Zadat je znak protopiramide (hhl); ako je ta piramida u istoj zoni sa deuteropiramidom (h0l), onda znamo i znak deuteropiramide; iz toga znaka izračunamo luk (001) : (h0l) i dodjemo do trokuta (001), (h0l), (hhl), gdje je luk (h0l) : (hhl) traženi kut protopiramide.

Primjer: Zadat je kod polijanita znak (221) protopiramide; on leži u zoni deuteropiramide (201); dakle je (201) = ( $a : \infty a : 2c$ ). Osni odnos polijanita  $c = 0.66467$  pomnožimo sa veličinom osi  $c$  deuteropiramide (201), t. j. sa 2 i dobijemo  $0.66467 \times 2 = 1.32934$ ; to je numerus, kome odgovara logaritma 0.12363.

$$\log \operatorname{tg} (001) : (201) = 0.12363$$

$$(001) : (201) = 53^\circ 2' 51''$$
; to je veličina luka

$b = (001) : (201)$ ; dakle je u sfernom pravokutnom trokutu (001), (201), (221)

$$\operatorname{tg} c (201) : (221) = \sin b (001) : (201) \cdot \operatorname{tg} C (001); C = 45^\circ$$

$$\log \sin 53^\circ 2' 51'' = 9.90262$$

$$\log \operatorname{tg} 45^\circ = 0.00000$$

$$\log \operatorname{tg} c = 9.90262$$

$$(201) : (221) = 38^\circ 37' 46''$$

$$2c = (221) : (2\bar{2}1) = 77^\circ 15' 3''$$

e) Traži se znak ditetragske piramide {hkl} iz zadata kuta. Rješenje to analognog je rješenju heksakisoktaedra u teseralnom sustavu. Kod ditetragske piramide tri su vrste bridova: ovršni brid oštrij (311) : (3\bar{1}1), ovršni brid tuplji (311) : (131) i osnovni brid (u polovici) (311) : (310). Za traženje znaka moramo obaviti mjerenja dvaju bridova.

1. Mjeren je brid (311) : (301) =  $c$ , t. j. polovica ovršnoga oštrijega brida, i brid (311) : (221) =  $c'$ , t. j. polovica ovršnoga tupljega brida (sl. 304).

$$\frac{\sin C'}{\sin C} = \frac{\sin c'}{\sin c}; C + C' = 45^\circ$$

$$\operatorname{cotg} C = \frac{\sin c'}{\sin 45^\circ \cdot \sin c} + 1$$

U sfernom pravokutnom trokutu (001), (301), (311) poznata je zadata stranica  $c$  (301) : (311) i kut kod C (001).

Primjer:

Mjerenja su obavljena na cirkonu i to;

$$2c = (311) : (3\bar{1}1) = 32^\circ 57'; c (301) : (311) = 16^\circ 28' 30''$$

$$2c' = (311) : (131) = 47^\circ 17'; c' = (311) : (221) = 23^\circ 38' 30''$$

$$\operatorname{cotg} C = \frac{\sin 23^\circ 38' 30''}{\sin 45^\circ \cdot \sin 16^\circ 28' 30''} + 1$$

$$\log \sin 23^\circ 38' 30'' = 9.60316,$$

$$\log \sin 45^\circ = 9.84949$$

$$\log \sin 16^\circ 28' 30'' = 9.45271$$

$$9.60316$$

$$9.30220$$

$$0.30096; \text{ od toga je numerus } 1.9996$$

$$\operatorname{cotg} C = 1.9996 + 1 = 2.9996$$

$$\log \operatorname{cotg} C = 0.47707$$

$$C = 18^\circ 26' 13''$$

Sad ćemo riješiti sferni pravokutni trokut (001), (301), (311), gdje je poznat kut  $C = 18^\circ 26' 13''$  i zadata stranica (301) : (311) =  $c$ ; traži se  $b$  (001) : (301), koji daje osni odnos za deuteropiramide  $q$  {h0l}; dakle:

$$\sin b = \operatorname{tg} c \cdot \operatorname{cotg} C$$

$$\sin b = \operatorname{tg} c (301) : (311) \cdot \operatorname{cotg} C (001)$$

$$\log \operatorname{tg} 16^\circ 28' 30'' = 9.47091$$

$$\log \operatorname{cotg} 18^\circ 26' 13'' = 0.47707$$

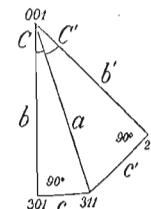
$$\log \sin b = 9.94798$$

$$b = 62^\circ 30' 50''$$

$$\log \operatorname{tg} 62^\circ 30' 50'' = 0.28378; \text{ tome odgovara numerus } 1.9221,$$

a to je osni odnos za onu deuteropiramidu, koja otupljuje brid ditetragske piramide. Znak te deuteropiramide dobit ćemo, ako njezin osni odnos razdijelimo sa osnim odnosom osnovne forme, koji je kod cirkona  $a : c = 1 : 0.6404 \dots$ ; dakle  $1.9221 : 0.6404 = 3$ . Prema tome je znak deuteropiramide ( $a : \infty a : 3c$ ) = {301}.

Kako je  $C = (100) : (310)$ , to  $\operatorname{cotg} C$  općenito predstavlja odnos  $h : k$  one ditetragske prizme, koja odgovara ditetragskoj piramidi. Mi smo dobili  $\operatorname{cotg} C = 2.9996 = 3$ , dakle je  $\frac{h}{k} = 3$ . Preme tome je znak ditetragske prizme {310}. Sad se lako nadje

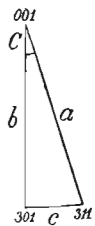


Sl. 304.

znak ditetragske piramide, jer ona leži na presjeku ovih dviju poznatih zona:  $\{001, 310\}$  i  $\{010, 301\}$ ; znak je njezin  $\{311\}$ .

2. Mjeren je oštriji ovršni brid  $(311) : (3\bar{1}1)$ , pa poznamo njegovu polovicu  $(311) : (301) = c$ , i osnovni brid  $(311) : (310) = c'$ . Treba riješiti sferni pravokutni trokut  $(001)$ ,  $(301)$ ,  $(311)$  (sl. 305.), u kom je poznat luk  $(001) : (311)$  kao dopunjak do  $90^\circ$  zadatoga osnovnoga brida  $(311) : (310)$ ; traži se luk  $b = (001) : (301)$ ; tg b daje sa zadatim osnim odnosom  $a : c$  znak za deuteropirמידu  $(h0l)$ , koja otupljuje mjereni ovršni brid ditetragske piramide; tg kuta  $C(001)$ , koji je jednak luku  $(100) : (hk0)$ , daje znak za ditetragsku prizmu  $\{hkl\}$ ; ta dva znaka,  $(h0l)$  i  $(hk0)$  daju znak za ditetragsku pirמידu  $\{hkl\}$ .

Primjer: Mjerenja su obavljena na cirkonu i to:



Sl. 305.

$$\begin{aligned} c &= (301) : (311) = 16^\circ 28' 30''; \quad c' = (311) : (310) = 26^\circ 16' \\ & \quad (001) : (310) = 90^\circ \\ & \quad (311) : (310) = 26^\circ 16' \\ a &= (001) : (311) = 63^\circ 44' \\ \cos b &= \frac{\cos a}{\cos c} \\ \log \cos 63^\circ 44' &= 9.64596 \\ \log \cos 16^\circ 28' 30'' &= 9.98179 \\ \log \cos b &= (001) : (301) = 9.66417 \\ b &= 62^\circ 30' 58'' \end{aligned}$$

$\log \operatorname{tg} b = 0.28382$ ; od toga je numerus 1.9223, koji je osni odnos za plovu  $(h0l)$ ; njega razdijelimo sa osnim odnosom osnovne forme cirkonove;  $c' : c = 1.9223 : 0.6404 = 3$ ; znak je dakle deuteropirמידe  $\{h0l\} = \{301\}$ . Sad valja nać veličinu kuta  $C(001)$ , koji je jednaku luk  $(100) : (hk0)$ ; on daje znak za ditetragsku prizmu (sl. 305.):

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} C(001) &= \frac{\operatorname{tg} c(301) : (311)}{\sin b(001) : (301)} = \frac{\operatorname{tg} 16^\circ 28' 30''}{\sin 62^\circ 30' 58''} \\ \log \operatorname{tg} 16^\circ 28' 30'' &= 9.47091 \\ \log \sin 62^\circ 30' 58'' &= 9.94799 \end{aligned}$$

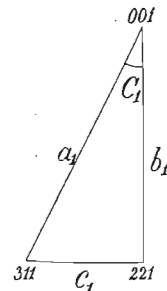
$\log \operatorname{tg} C(001) = 9.52292$ ; tome logaritmu odgovara numerus  $0.3333 \doteq \frac{1}{3}$ ; znak je dakle ditetragske prizme  $\{hk0\} = \{310\}$ .

3. Mjeren je tuplji ovršni brid  $(311) : (131)$ , pa poznamo njegovu polovicu  $(311) : (221) = c_1$ , i osnovni brid  $(311) : (310) = c'$ . Treba najprije riješiti sferni pravokutni trokut  $(001)$ ,  $(221)$ ,  $(311)$  (sl. 306.), u kom je poznat luk  $c_1 = (311) : (221)$  kao zadata stranica, i luk  $(001) : (311)$  kao dopunjak zadatoga osnovnoga brida  $(311) : (310)$  do  $90^\circ$ ; traži se kut kod  $(001) = C_1$ . Taj ćemo kut odbiti od  $45^\circ$  i tako dolazimo do sfernoga pravokutnoga trokuta  $(001)$ ,  $(301)$ ,  $(311)$  (sl. 305.), u kom je poznat luk  $(001) : (311) = a$  i kut kod  $(001) = C = 45^\circ - C_1$ ; traži se luk  $b = (001) : (301)$ , a tg b daje sa zadatim osnim odnosom  $a : c$  po načinu kao pod 2) znak za deuteropirמידu  $(h0l)$ .

Primjer: Mjerenja su obavljena na cirkonu i to:

$$\begin{aligned} (311) : (131) &= 2 \quad c_1 = 47^\circ 17'; \quad c_1 = 23^\circ 38' 30'' \text{ i } (311) : (310) = c' = 26^\circ 16' \\ & \quad (001) : (310) = 90^\circ \\ & \quad (311) : (310) = 26^\circ 16' \\ a_1 &= (001) : (311) = 63^\circ 44' \\ c_1 &= (311) : (221) = 23^\circ 38' 30'' \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sin C_1 &= \frac{\sin c_1}{\sin a_1} = \frac{\sin 23^\circ 38' 30''}{\sin 63^\circ 44'} \\ \log \sin 23^\circ 38' 30'' &= 9.60316 \\ \log \sin 63^\circ 44' &= 9.95267 \\ \log \sin C_1 &= 9.65049 \\ C_1 &= 26^\circ 33' 47'' \\ 44^\circ 59' 60'' \\ 26^\circ 33' 47'' &= C_1 \\ 18^\circ 26' 13'' &= C. \end{aligned}$$



Sl. 306.

U sfernom pravokutnom trokutu  $(001)$ ,  $(301)$ ,  $(311)$  poznamo stranicu  $a = (001) : (311) = 63^\circ 44'$  i kut kod  $C(001) = 18^\circ 26' 13''$ ; treba nać tg b; dakle:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} b &= \operatorname{tg} a \cdot \cos C \\ \log \operatorname{tg} 63^\circ 44' &= 0.30671 \\ \log \cos 18^\circ 26' 13'' &= 9.97712 \end{aligned}$$

$\log \operatorname{tg} b = 0.28383$ ; tome odgovara numerus 1.9223, koji je osni odnos za deuteropirמידu  $\{h0l\}$ ; njega razdijelimo sa osnim odnosom osnovne forme cirkona, t. j.  $c' : c = 1.9223 : 0.6404 = 3$ ; znak je dakle deuteropirמידe  $\{h0l\} = \{301\}$ . Sad valja nać tg kuta  $C = 18^\circ 26' 13''$ , koji daje znak  $\frac{k}{h}$  za ditetragsku prizmu:

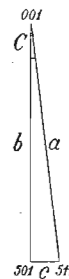
$$\log \operatorname{tg} 18^\circ 26' 13'' = 9.52293; \text{ od toga je numerus } 0.3333 = \frac{1}{3}; \text{ znak}$$

je dakle za ditetragsku prizmu  $\{hk0\} = \{310\}$ .

f) Traži se kut ditetragske pirמידe  $\{hkl\}$  iz zadata znaka. Da nadjemo taj kut, moramo poznavati znakove pirמידe I. i II. reda, iz kojih ćemo riješiti ova dva pravokutna sferna trokuta:

$$\begin{aligned} (001), (501), (511) \text{ ili općenito } (001), (h0l), (hkl); \\ (001), (511), (331) \text{ ili općenito } (001), (hkl), (hhl), \end{aligned}$$

koji će dati veličinu luka  $(501) : (511)$  i  $(511) : (331)$ ; ti su lukovi polovice ovršnih bridova ditetragske pirמידe. Osnovni ćemo brid izračunati iz sfernoga pravokutnoga trokuta  $(001)$ ,  $(501)$ ,  $(511)$ , u kom je poznata stranica  $b(001) : (501)$ , jer se nadje poznatim načinom iz znaka  $(501)$ , i kut kod  $C(001)$  kao  $\operatorname{cotg} C = 5$ . Možemo dakle izračunati veličinu kuta  $(001) : (511) = a$ ; odbijemo li to od  $90^\circ$ , dobit ćemo veličinu kuta  $(511) : (510)$ , t. j. veličinu osnovnoga brida ditetragske pirמידe  $\{511\}$ .



Sl. 307.

Primjer: Zadati su znak  $(511)$  ditetragske pirמידe cirkona; neka se nadje kut  $(511) : (5\bar{1}1)$ ,  $(511) : (151)$  i  $(511) : (510)$ . U sfernom pravokutnom trokutu  $(001)$ ,  $(501)$ ,  $(511)$  (sl. 307.) tražimo stranicu  $b(001) : (501)$  iz znaka  $(501)$ .

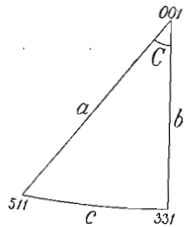
$a : \infty a : 5c; 0.6404 \times 5 = 3.2020$ ; logaritmam od 3.2020 jest 0.50542;  $\log \operatorname{tg} b = 0.50542$ ;  $b(001) : (501) = 72^\circ 39' 21''$ . Kut kod  $C(001)$  izračunamo iz znaka  $(510)$ , po formuli  $\operatorname{cotg} C = 5$ ; t. j.

$$\begin{aligned} \log 5 &= 0.69897 \\ \log \operatorname{cotg} C &= 0.69897 \\ C &= 11^\circ 18' 35''. \end{aligned}$$

Treba sada riješiti sferni pravokutni trokut  $(001)$ ,  $(501)$ ,  $(511)$ , u kojemu Sl. 307. je luk  $(501) : (511)$  polovica traženoga kuta  $(511) : (5\bar{1}1)$ ; dakle:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} c &= \operatorname{tg} C \cdot \sin b \\ \log \operatorname{tg} 11^\circ 18' 35'' &= 9.30103 \\ \log \sin 72^\circ 39' 21'' &= 9.97979 \\ \hline \log \operatorname{tg} c &= 9.28082 \\ c &= 10^\circ 48' 29'' = (501) : (511) \\ 2c &= 21^\circ 36' 58'' = (511) : (511). \end{aligned}$$

Sada treba riješiti trokut (001), (511), (331) (sl. 308.), gdje ćemo naći luk (511) : (331), koji je polovina traženoga kuta (511) : (151); u tom trokutu poznamo kut kod C (001) =  $45^\circ - 11^\circ 18' 35'' = 33^\circ 41' 25''$ , a moramo naći još stranicu (001) : (511) iz trokuta (001), (501), (511), da iz dva poznata elementa nadujemo treći nepoznati:



Sl. 308.

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} a &= \frac{\operatorname{tg} b}{\cos C} = \frac{\operatorname{tg} 72^\circ 39' 21''}{\cos 11^\circ 18' 35''} \quad (\text{vidi sl. 307.}) \\ \log \operatorname{tg} 72^\circ 39' 21'' &= 0.50542 \\ \log \cos 11^\circ 18' 35'' &= 9.99148 \\ \hline \log \operatorname{tg} a &= 0.51394 \\ a (001) : (511) &= 72^\circ 58' 22''. \end{aligned}$$

Tako smo došli do sfernoga pravokutnoga trokuta (001), (331), (511), gdje poznamo stranicu a (001) : (511) i kut C (001), a tražimo stranicu c (331) : (511):

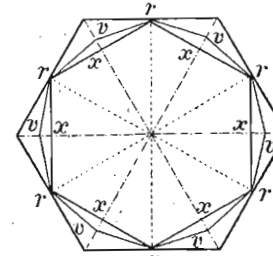
$$\begin{aligned} \sin c &= \sin a \cdot \sin C \\ \log \sin 72^\circ 58' 22'' &= 9.98054 \\ \log \sin 33^\circ 41' 25'' &= 9.74406 \\ \hline \log \sin c (331) : (511) &= 9.72460 \\ c (331) : (511) &= 32^\circ 1' 57'' \\ 2c (511) : (151) &= 64^\circ 3' 54''. \end{aligned}$$

Treba još izračunati osnovni brid (511) : (510); on je jednak  $90^\circ - (001) : (511)$ ; kako je (001) : (511) =  $72^\circ 58' 22''$ , to je:

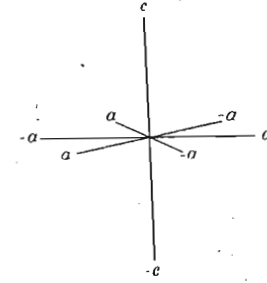
$$\begin{aligned} &89^\circ 59' 60'' \\ &- 72^\circ 58' 22'' \\ \hline &17^\circ 1' 38'' \\ (511) : (510) &= 17^\circ 1' 38''. \end{aligned}$$

**40. Heksagonski sustav** možemo izvesti iz tetragonskoga sustava na taj način, da obje suosi, koje su jedna na drugoj okomite, postavimo u takav položaj, da se one sijeku pod kutom (uglom) od  $120^\circ$ . Kristali heksagonskoga sustava imali bi prema tome tri osi: dvije su osi jednake dužine, leže u horizontalnoj ravnini i sijeku se pod kutom od  $120^\circ$ , treća je os vertikalna, dulja ili kraća od suosi, a na njima je okomita. Ovakav položaj osi u toliko je uticao na simetriju kristala, da je broj ravnina simetrije porastao na sedam i kristali se razviše sa heksagonskim licem (sl. 309.). Da se položaj prema osima tačno geometrijski odredi, uveo je Bravais još jednu suos i tako heksagonski kristali imaju četiri osi: tri su jednake dužine, leže u horizontalnoj ravnini i sijeku se pod kutom  $60^\circ$ ; te tri jednake osi zovemo suosima i označujemo ih kao i u tetragonskom sustavu slovom *a*; četvrta je os duža ili kraća od suosi, zovemo je glav-

nom osi i označujemo slovom *c* kao i u tetragonskom sustavu (sl. 310.). Osi postavljamo tako, da je glavna os *c* vertikalna, a suosi su u horizontalnoj ravnini, te se jedna od njih pruža od lijeva na desno, a druge dvije



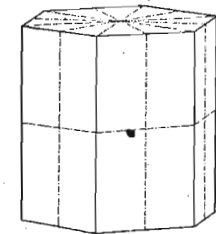
Sl. 309.



Sl. 310.

stoje na njoj koso pod kutom (uglom) od  $60^\circ$ . Kako je glavna os promjenljiva, moramo za svaku mineralnu vrstu, koja se kristalizuje u heksagonskom sustavu, naći veličinu te osi, t. j. njen odnos spram suosi. Pošto su kutovi (uglovi) poznati, jer je  $a:a:a = 60^\circ$ ,  $a:c = 90^\circ$ , naći ćemo osni odnos  $a:a:a:c$  ili  $1:1:1:\frac{c}{a}$ , ako obavimo mjerenje samo jednoga kristalnoga kuta (ugla).

✓ **I. Holoedrija** (13. kristalni razred) heksagonskoga sustava obuhvata forme sa najvećim stupnjem simetrije, što ga može da ima osni krst toga sustava. Na tim formama naći ćemo u prvom redu 7 ravnina simetrije (sl. 311.). Jedna je ravnina simetrije glavna PG i okomita na glavnu os *c*, dakle je horizontalna, a prolazi ravninom suosi. Drugih šest ravnina simetrije jesu vertikalne i sijeku se pod kutom (uglom) od  $30^\circ$ ; to su sporedne ravnine simetrije PS, od kojih 3 prolaze kroz glavnu os i suos, a druge 3 kroz glavnu os i sredinom između suosi. Isto je toliko i osi simetrije L. Jedna je os simetrije vertikalna i teče zajedno sa glavnom osi; to je  $L^6$ . Ostalih 6 osi simetrije jesu horizontalne i digonske  $L^2$ ; 3 od njih teku zajedno sa suosima, a druge 3 sredinom između suosi. Kako su se kristalne forme heksagonske holoedrije razvile sa paralelnim istovrsnim plohama, imaju one i centar simetrije C.



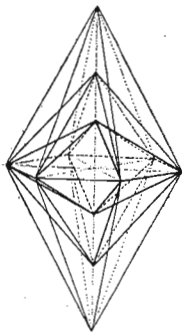
Sl. 311.

Elementi simetrije u holoedriji heksagonskoga sustava jesu dakle: 1 horizontalna PG + 3 + 3 vertikalne PS,  $1L^6$  vertikalna i  $3L^2 + 3L^2$  horizontalne i C.

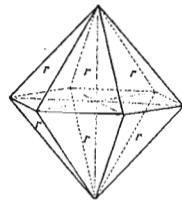
Forme heksagonskoga sustavu jesu, kao i u tetragonskom sustavu, bipiramide, prizme i osnovni pinakoid. S obzirom na položaj ploha prema osima može biti i ovdje samo sedam vrsta kristalnih forma. Evo ih:

1. *Heksagonska bipiramida I. reda* ili *protopiramida* ima gore i dolje po 6 monosimetrijskih ploha. U 2 ugla, kroz koje izlazi glavna os, sastaju se po 6 ovršnih bridova, a u 6 uglova, kroz koje izlaze suosi, sastaju se po 2 ovršna i po 2 osnovna brida. Plohe su tako položene, da svaka od njih siječe glavnu os  $c$  u nekoj izmjerljivoj udaljenosti, u udaljenosti  $m$ , dvije suosi u udaljenosti 1, a sa trećom je suosi paralelna (sl. 313.); prema tome je osni odnos neke heksagonske protopiramide ( $a : \infty a : -a : mc$ ), gdje je  $m$  racionalan broj, na pr. ( $a : \infty a : -a : 4c$ ), ( $a : \infty a : -a : \frac{2}{3}c$ ) i t. d.

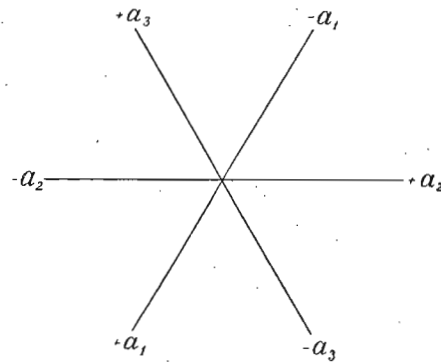
Kako je glavna os promljenjiva, duža ili kraća, ima heksagonskih piramida mnogo (sl. 312.); njihov je broj neograničen. Ako je  $m > 1$ , piramide su šiljatije, ako je  $m < 1$ , piramide su tuplje.



Sl. 312.



Sl. 313.

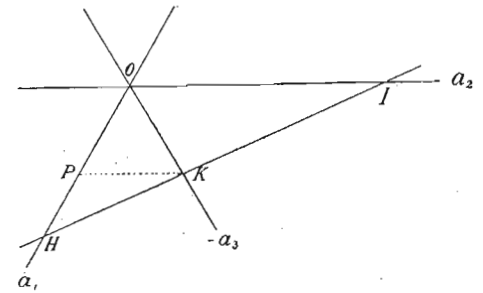


Sl. 314.

Kod određivanja heksagonskih kristala odabiramo jednu piramidu kao osnovnu formu, kojoj Naumann, kao i u tetragonskom sustavu, daje znak P, a Weiss ( $a : \infty a : -a : c$ ). Za označivanje ploha indeksima moramo istaknuti, da su suosi udaljene jedna od druge za  $120^\circ$  te slijede ovim redom:  $a_1, a_2, a_3$ ; suos  $a_2$  pruža se od lijeva na desno, suosi  $a_1$  i  $a_3$  jesu medju sobom kose, t. j. sijeku se pod kutom od  $60^\circ$ . Zbog takvoga položaja polovice suosi idu od lijeva na desno ovim redom:  $a_1, -a_3, a_2, -a_1, a_3, -a_2$  (sl. 314.).

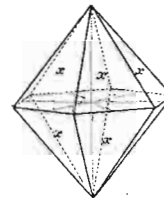
Bravais, koji je uveo treću suos, označuje plohe indeksima tako, da se osvrće na sve četiri osi. Od tri indeksa, koji se tiču suosi, dovoljno je poznavanje samo dvaju, jer se iz njih može tačno odrediti treći indeks, kako se razabira iz ovoga razlaganja:

U slici 315. neka ravnina suosi  $a_1, -a_3, a_2$  čini prerez neke plohe  $HKI$ ;  $OH, OI, OK$  neka su parametri osi  $a_1, a_2, -a_3$ ; prema tome je  $OH : OI : OK = \frac{1}{h} : \frac{1}{i} : \frac{1}{k}$ . Ako povučemo pravac  $KP$  paralelno sa  $OI$ , odnosi se tada  $OH : PH = OI : PK$ . Budući da je trokut  $OPK$  istostraničan, to je  $PK = OK = OP$ , a po tome je  $PH = OH - OK$ ; dakle je  $OH : (OH - OK) = OI : OK$  ili  $\frac{1}{h} : \left(\frac{1}{h} - \frac{1}{k}\right) = \frac{1}{i} : \frac{1}{k}$ , ili  $k = h + i$ . Kako suos  $a_3$  ima negativan predznak, to je  $h + i + k = 0$ , ili  $h + i = -k$ . Slijedi dakle, da od 3 indeksa  $hik$  jedan mora da bude negativan. Ako su 2 indeksa poznata, treći je indeks onaj broj, koji sa 2 poznata indeksa daje zbroj = 0 (nul). Kod osnovne piramide I. reda, ako se prvi indeks ( $h$ ) odnosi na os  $a_1$ , drugi ( $i$ ) na os  $a_2$ , treći ( $k$ ) na os  $a_3$ , četvrti ( $l$ ) na os  $c$ , simbol je po Bravaisu  $\{10\bar{1}l\}$ . Općeni je znak za heksagonsku protopirמידu po Weissu ( $a : \infty a : -a : mc$ ). Po Naumannu  $mP$ , po Bravaisu  $\{h0\bar{h}l\}$ .<sup>1)</sup>



Sl. 315.

2. *Heksagonska bipiramida II. reda* ili *deuteropiramida* ni u čemu se ne razlikuje svojim oblikom od protopiramide; razlika je samo u položaju njezinom prema suosima: deuteropiramida zaokrenuta je spram protopiramide za  $30^\circ$  (sl. 316., vidi još u sl. 309. x). Zbog toga suosi prolaze sredinom osnovnih (horizontalnih) bridova. Plohe sijeku sve četiri osi i to dvije suosi u jednakoj udaljenosti, a treću u udaljenosti za polovicu manjoj; ta treća os, koju plohe sijeku u udaljenosti za polovicu manjoj nego ostale dvije suosi, leži uvijek između te dvije suosi. Glavnu os siječe deuteropiramida u udaljenosti  $m$ . Osni joj je dakle odnos ( $2a : 2a : -a : mc$ ) ili ( $a : a : -\frac{a}{2} : \frac{m}{2}c$ ), gdje je  $m$  racionalan broj, na pr. ( $2a : 2a : -a : 3c$ ), ( $2a : 2a : -a : \frac{1}{6}c$ ) i t. d. Općeni joj je znak po Weissu ( $2a : 2a : -a : mc$ ), po Naumannu  $mP_2$  (koeficijent 2 uvijek je stalañ za svaku heksagonsku deuteropirמידu), po Bravaisu  $\{h \cdot h \cdot 2\bar{h} \cdot l\}$ . Broj je deuteropiramida neograničen; ima ih šiljatijih i tupljih; ako je  $m > 1$ , piramide su šiljatije,

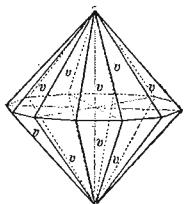


Sl. 316.

<sup>1)</sup> C. F. Naumann — F. Zirkel: Elemente der Mineralogie. Fünfzehnte Auflage pag. 76. Leipzig 1907.

ako je  $m < 1$ , piramide su tuplje. Deuteropiramidu možemo razlikovati od protopiramide samo onda, kad obje dolaze na kristalima kao kombinacije.

3. *Diheksagonska bipiramida* ima gore i dolje po dvanaest ploha, koje imaju formu raznostranična trokuta, te su asimetrijske. One su tako položene prema osima, da svaka od njih siječe sve četiri osi u različitoj udaljenosti i to glavnu os u udaljenosti  $m$ , a suosi tako, da srednju od njih siječe  $r$  najmanjoj, a druge dvije svaku u većoj, ali različitoj udaljenosti (sl. 317.; vidi još u sl. 309. v); prema tome ima diheksagonska bipiramida ovaj osni odnos  $na : pa : -a : mc$ , gdje su koeficijenti  $n, m, p$  racionalni brojevi, na pr.

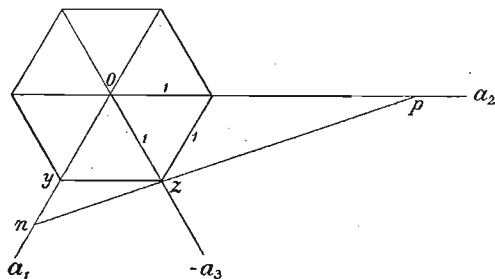


Sl. 317.

$$\left(\frac{4}{3} a : 4a : -a : 8c\right), \left(\frac{3}{2} a : 3a : -a : 3c\right), \left(\frac{8}{7} a : 8a : -a : 4c\right)$$

i t. d. Kako je glavna os dulja ili kraća, dolaze i diheksagonske bipiramide u neograničenom broju; ima ih šiljatih i tupljih; ako je  $m > 1$ , one su šiljatiye, ako je  $m < 1$ , one su tuplje. Općeni joj je znak po Weissu ( $na : pa : -a : mc$ ), po Naumannu  $mPn$ , a po Bravaisu  $\{hi\bar{k}l\}$ . Iz Naumannova znaka  $mPn$  razabira se, kako može diheksagonska bipiramida prijeći u protopiramidu  $mP$  i deuteropiramidu  $mP2$ ; bude li  $n=1$ , prijeći će ona u protopiramidu  $mP$ , bude li  $n=2$ , prijeći će u deuteropiramidu  $mP2$ . Vrijednosti za  $n$  kreću se dakle izmedju 1 i 2, dok je u tetragonskom sustavu mogao  $n$  da primi sve racionalne vrijednosti od 1 do  $\infty$ .

Naumannov znak  $mPn$  sadržaje u sebi koeficijente samo za tri parametra:  $m$ , koji dolazi ispred  $P$ , odnosi se na os  $c$ ;  $n$ , koji dolazi iza  $P$ , odnosi se na jednu suos; koeficijent druge suosi jest 1 i Naumann ga u svome znaku ne bilježi; koliki je koeficijent  $p$  treće suosi? Taj ćemo koeficijent naći iz položaja ploha diheksagonske



Sl. 318.

bipiramide prema suosima; svaka ploha te piramide siječe suosi u različitim udaljenostima tako, da je parametar srednje suosi uvijek najmanji (sl. 318.). Ako je najmanji koeficijent = 1, srednji =  $n$ , onda je najveći  $p = \frac{n}{n-1}$ . Neka je na pr. srednji koeficijent  $\frac{3}{2}$ ,

to je najveći koeficijent  $p = \frac{\frac{3}{2}}{\frac{3}{2}-1} = 3$ . Vidimo to iz slijedećeg razmatranja:

U sl. ci. 318. jest  $\Delta oxn \sim \Delta yzn$ ; prema tome je  $ox : on = yz : yn$ . Neka je  $oz$  i  $oy$  (kao najmanji parametar) = 1, tada je  $yz = 1$ ; neka je najveći parametar  $on =$  dužini  $n$ , a  $ox$  (traženi srednji parametar) = dužini  $x$ , tada je dužina  $yn = on - oy$  ili  $yn = n - 1$ . Dakle je  $x : n = 1 : n - 1$  ili  $x = \frac{n}{n-1}$ .

Prema tome je općeni znak neke diheksagonske bipiramide  $na : a : \frac{n}{n-1} a : mc$ ;

tu je  $n$  uvijek veći od 2, dok vrijednost za  $\frac{n}{n-1}$  koleba izmedju 1 i 2. Ako u gornjem znaku bude  $n=2$ , bit će i parametar treće suosi = 2, t. j. bit će znak  $2a : a : \frac{2}{2-1} a : c$ , dakle znak deuteropiramide. Ako je  $n=1$ , bit će parametar treće suosi  $\infty$ , diheksagonska bipiramida prijeći će u heksagonsku protopiramidu.<sup>1)</sup>

Heksagonske forme označuje Miller sa 3 indeksa  $pqr$ . Do tih indeksa možemo doći iz indeksa Bravaisovih ( $hi\bar{k}l$ ) na ovaj način:

$$p = h - k + l \quad q = i - h + l \quad r = k - i + l$$

Iz Millerovih indeksa  $pqr$  dolazimo do Bravaisovih  $hi\bar{k}l$  ovako:

$$h = \frac{p-q}{3} \quad i = \frac{q-r}{3} \quad k = \frac{r-p}{3} \quad l = \frac{p+q+r}{3}$$

Treba li iz Bravaisova znaka  $hi\bar{k}l$  izračunati znak zone (29), moramo ispustiti indeks  $k$ , a sa ostala tri indeksa postupamo kao obično kod izračunavanja znaka; na taj način dobijemo kao rezultat tri indeksa, kojima se doda indeks  $k$  kao negativan zbroj prvih dvaju indeksa; na pr. zona  $[01\bar{1}1, 10\bar{1}0]$  ima znak  $[01\bar{1}\bar{1}]$ , jer je

$$\begin{array}{c|ccc|c} 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ \hline & \times & \times & \times & \times & \\ \hline 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{array}$$

$$1 \times 0 - 0 \times 1 = 0; \quad 1 \times 1 - 0 \times 0 = 1; \quad 0 \times 0 - 1 \times 1 = -1; \quad \text{t. j. } [01\bar{1}\bar{1}].$$

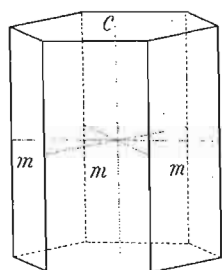
Diheksagonska bipiramida ima 36 bridova od tri vrste i 14 uglova također od tri vrste. U 2 ugla, kroz koja prolazi glavna os, sijeku se 24 ovršna brida, koji su od dvije vrste: u 12 ovršnih bridova sijeku se po 2 plohe pod tupim kutom (uglom), a u drugih 12 ovršnih bridova sijeku se po dvije plohe pod šiljatim kutom (uglom). U 12 uglova, koji su u horizontalnoj ravnini, sastaju se po 2 ovršna i po 2 osnovna brida. Suosi izlaze kroz oštre uglove. Diheksagonska bipiramida, kod koje bi ovršni bridovi bili jednaki, ili koje bi prerez bio pravilan dvanaestorokut, u svijetu minerala nije moguća, jer bi joj parametarski odnos bio iracionalan, t. j.  $m = \frac{1}{2}(1 + \sqrt{3})$ .

Na jednaki način, kako su iz tetragonskih bipiramida postale tetragonske prizme, postat će iz heksagonskih bipiramida heksagonske prizme. Ako u protopiramidi postane glavna os neizmjereno velika, postat će ta bipiramida:

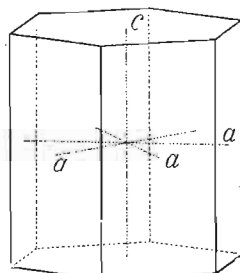
4. *Heksagonska prizma I. reda* ili *protoprizma* sa 6 ploha, koje su paralelne vertikalnoj osi  $c$  (sl. 319.); one su disimetrijske. Kristalne osi izlaze sredinom bridova. Znak joj je po Weissu  $a : \infty a : -a : \infty c$ , po Naumannu  $\infty P$ , po Bravaisu  $\{10\bar{1}0\}$ .

<sup>1)</sup> C. F. Naumann — F. Zirkel: Elemente der Mineralogie. Fünfzehnte Auflage, pag. 79. Leipzig 1907.

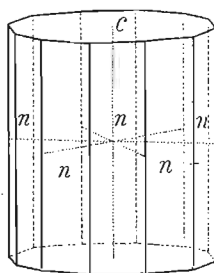




Sl. 319.



Sl. 320.



Sl. 321.

5. *Heksagonska prizma II. reda* ili *deuteroprizma* postaje iz deuteropiramide, kad njezina glavna os bude neizmjereno velika (sl. 320.), pa joj je znak po Weissu  $2a:2a:-a:\infty c$ , po Naumannu  $\infty P_2$ , po Bravaisu  $\{11\bar{2}0\}$ .

Dakako da se ove dvije prizme, protoprizma i deuteroprizma, razlikuju kao i njihove piramide jedna od druge samo svojim položajem spram suosi: jedna je spram druge zaokrenuta za  $30^\circ$ , pa se tek u kombinacijama mogu prepoznati kao protoprizma i deuteroprizma.

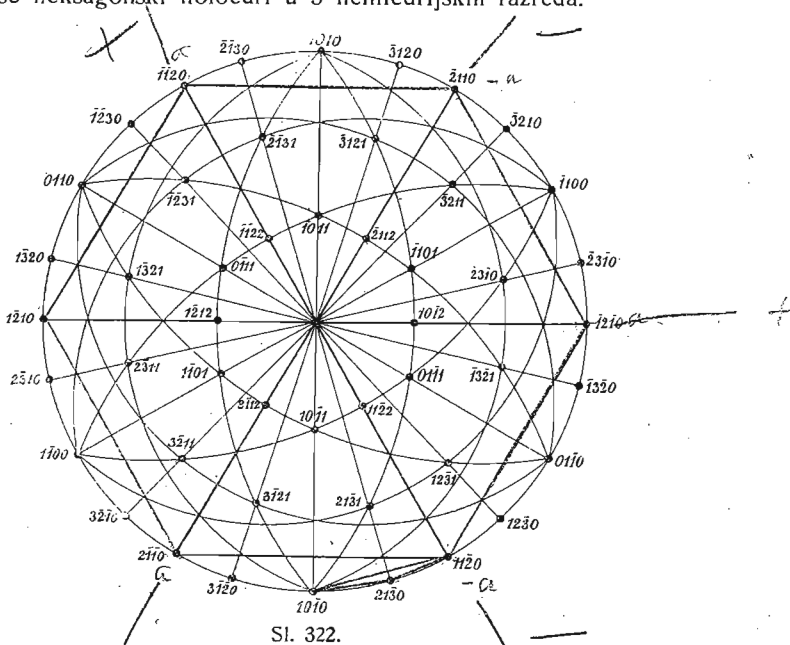
6. *Diheksagonska prizma* postaje iz diheksagonske bipiramide, kad joj glavna os postane neizmjereno velika (sl. 321.). Ona je sastavljena od 12 ploha, koje su paralelne glavnoj osi  $c$  i monosimetrijske. Suosi prolaze naizmjenice sredinom bridova. Znak joj je po Weissu  $(a:ma:-pa:\infty c)$ , po Naumannu  $\infty P_n$ , po Bravaisu  $\{hik0\}$ . Iz Naumannova znaka razabira se, da će diheksagonska prizma, kad bude  $n=1$ , prijeći u protoprizmu  $\infty P$ , a kad bude  $n=2$ , u deuteroprizmu  $\infty P_2$ , t. j. između protoprizme i deuteroprizme, kao krajnjih članova, ima čitav niz diheksagonskih prizma, dok je protoprizma i deuteroprizma samo jedna.

7. *Osnovni ili bazni pinakoid*. Ako u piramidi postane glavna os tako malena, da padne na nul (0), prijeći će piramida, kao i u tetragonskom sustavu, u osnovni pinakoid, u lik sa dvije plohe, koje su heksasimetrijske (vidi plohu  $c$  u sl. 319.—321.). Simbol mu je po Weissu  $(\infty a:\infty a:\infty a:c)$ , po Naumannu  $OP$ , a po Bravaisu  $\{0001\}$ . Između prizme i pinakoida (to se razabira već iz njihovih znakova) kao krajnjih članova nalazi se čitav niz piramida, tupljih i šiljatih, koje mogu prijeći u prizme ili u osnovni pinakoid. Osnovni je pinakoid moguć samo jedan; on je otvorena forma kao i prizme, zato takve forme mogu da dodju tek u kombinacijama: pinakoid sa piramidama i prizmama, prizma sa piramidama ili osnovnim pinakoidom.

Od minerala, koji se kristalizuju u holoedriji heksagonskoga sustava, spomenut ćemo berilij (sl. 324.)  $c$  (0001),  $r$  ( $10\bar{1}1$ ),  $x$  ( $11\bar{2}1$ ),  $m$  ( $10\bar{1}0$ ),  $a$  ( $11\bar{2}0$ ).

Sve forme heksagonske holoedrije dadu se izvesti jedna iz druge. Iz stereografske projekcije (sl. 322.) vrlo se lijepo razabira njihov međusoban položaj, a isto tako i iz triangularne slike 323.

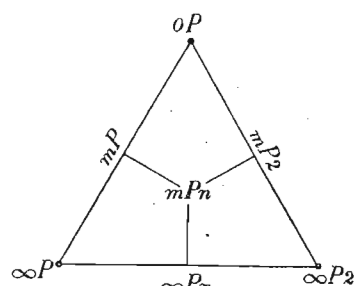
*Hemiedrije heksagonskoga sustava*. Gubitkom nekih elemenata simetrije raspadaju se heksagonski holoedri u 5 hemiedrijskih razreda.



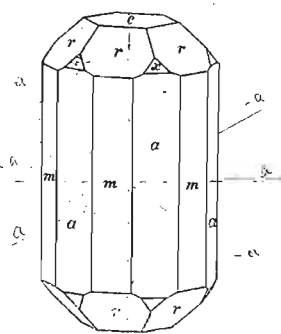
Sl. 322.

*II. Hemimorfija holoedrije* (14. kristalni razred) postaje na taj način, da se izgubi glavna ravnina simetrije, centar simetrije i  $6 L^2$ . U tom slučaju razvijaju se heksagonske forme sa  $3 + 3 PS$  i  $1L^6$ .

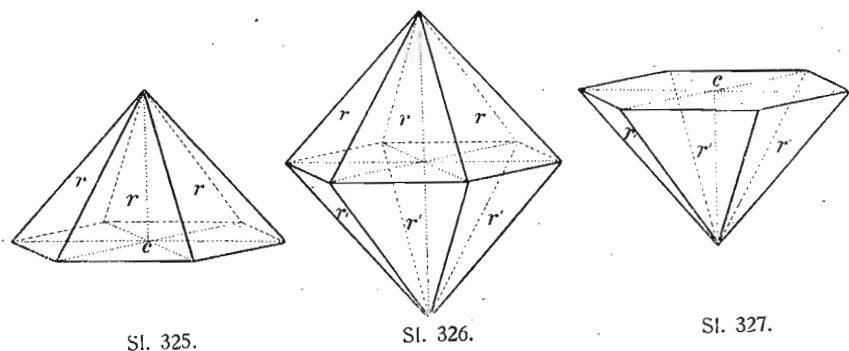
Novo forme daju samo bipiramide i bazni pinakoid. Bipiramide I. reda (sl. 326.) raspada se u dvije piramide I. reda (sl. 325., 327.), bipiramide II. reda u dvije piramide II. reda, diheksagonska bipiramide u dvije diheksagonske piramide, a bazni pinakoid u dva pediona. Prizme ostaju u ovom kristalnom razredu geometrijski nepromijenjene.



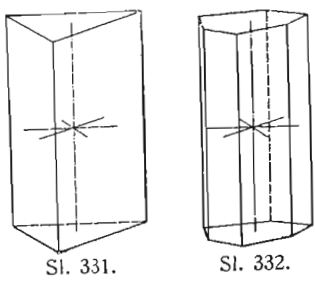
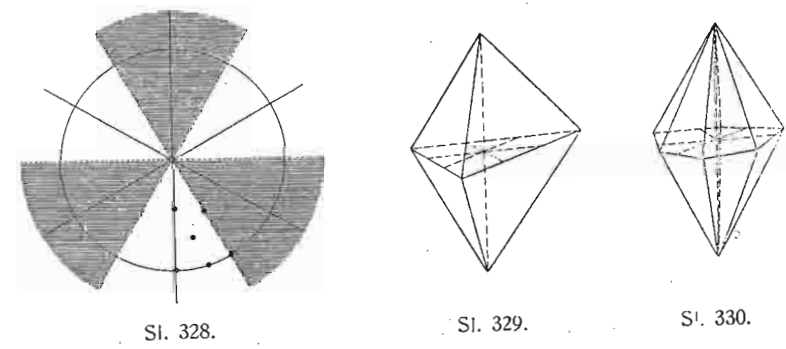
Sl. 323.



Sl. 324.



Od minerala kristalizuje se u hemimorfiji holoedrije na pr. vrcit.  
 III. *Trigonska hemiedrija* (15. kristalni razred) obuhvata forme heksagonskoga sustava, koje imaju  $1PG + 3PS$ ,  $1L^3$  vertikalnu +  $3L^2$  horizontalne. Centra simetrije nemaju.  $3PS$  sijeku se pod kutom (uglom) od  $60^\circ$  i proaze sredinom izmedju suosi.



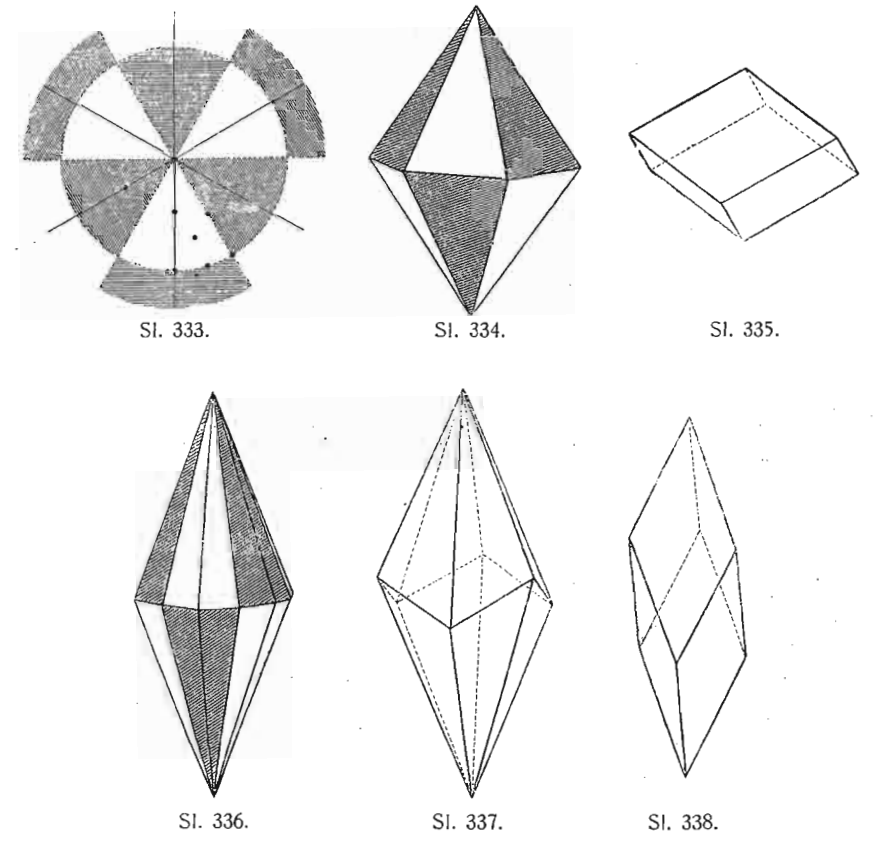
Iz stereografske projekcije (sl. 328.) vidi se, da će nove likove dati bipiramida I. reda, prizma I. reda, diheksagonska bipiramida i diheksagonska prizma. Sve druge forme ostaju geometrijski nepromijenjene. Heksagonska bipiramida I. reda raspast će se u dvije *trigonske bipiramide* I. reda (sl. 329.) pozitivnu  $\{h\bar{0}h\}$  i negativnu  $\{0h\bar{h}\}$ ; heksagonska prizma I. reda raspast će se u dvije *trigonske prizme* (sl. 331.), pozitivnu  $\{10\bar{1}0\}$  i negativnu  $\{01\bar{1}0\}$ ; diheksagonska bipiramida raspast će se u dvije *ditrigonske bipiramide* (sl. 330.), pozitivnu  $\{hk\bar{l}\}$  i negativnu  $\{i\bar{k}h\}$ , a diheksagonska prizma u dvije *ditrigonske prizme* (sl. 332.), pozitivnu  $\{hk\bar{i}0\}$  i negativnu  $\{i\bar{k}h0\}$ .

prizma u dvije *ditrigonske prizme* (sl. 332.), pozitivnu  $\{hk\bar{i}0\}$  i negativnu  $\{i\bar{k}h0\}$ .

Forme ovoga kristalnoga razreda pretežito su trigonskoga lica, pa se i bazni pinakoid razvija u plohama, koje su trisimetrijske.  
 Od minerala kristalizuje se u ovoj hemiedriji benitoit.

IV. *Romboedrijska hemiedrija* (16. kristalni razred) postaje iz holoedrije tako, da se izgubi glavna ravnina simetrije. Taj gubitak povlači za sobom i gubitak triju sporednih ravnina simetrije, koje prolaze suosima. Heksagonska os simetrije  $L^6$  prešla je u trigonsku os  $L^3$ , a uz to su se još izgubile i 3 digonske osi simetrije  $L^2$ . Prema tome romboedrijska hemiedrija ima ovaj stupanj simetrije:  $3PS$ , koje se sijeku pod kutom od  $60^\circ$ ,  $1L^3 + 3L^2$  i  $C$ .

Nove geometrijske likove može dati samo bipiramida I. reda i diheksagonska bipiramida, dok sve druge forme ostaju geometrijski nepromijenjene (sl. 333.). Od bipiramide I. reda (sl. 334.) postaju dva *romboedra* (sl. 335.),



pozitivni  $\{h0\bar{h}1\}$  i negativni  $\{0h\bar{h}1\}$ , a od diheksagonske bipiramide (sl. 336.) dva *skalenoedra* (sl. 337.), pozitivni  $\{hk\bar{l}\}$  i negativni  $\{k\bar{h}l\}$ .

Romboedar je sastavljen od 6 ploha, koje imaju formu romba te su monosimetrijske. Plohe se sijeku u 12 bridova, od kojih su 6 ovršni, a 6 osnovni. Osnovni bridovi ne leže u jednoj ravnini nego su položeni naizmjenice koso jedan gore, drugi dolje. U 2 ugla, kroz koja prolazi glavna os, sijeku se po 3 ovršna brida. Kroz te uglove prolazi i trigonska os simetrije, koja je ujedno i heksagonska os složene simetrije. U 6 uglova sijeku se po dva osnovna brida, sredinom kojih prolaze suosi, i 1 ovršni brid. Ravnine simetrije prolaze kroz ovršne bridove. Romboedri mogu biti šiljatiji (sl. 338.) ili tuplji, (sl. 335.) prema tome, da li plohe u ovršnim bridovima tvore kut veći ili manji od  $90^\circ$ . Ako se taj kut približava pravom kutu, približavat će se i romboedar svojom formom heksaedru, pa kad plohe u ovršnim bridovima budu činile kut od  $90^\circ$ , prijeći će romboedar u heksaedar.

Romboedar je postao gubitkom nekih elemenata simetrije iz heksagonske bipiramide I. reda  $mP$ , pa bi prema tome njegov parametar bio  $\frac{mP}{2}$ . Ali Naumann je za romboedar odabrao znak  $R$  i tim znakom bilježi sve forme ovoga kristalnoga razreda. Tako će na pr. iz protopiramide  $mP$  postati dva komplementarna romboedra  $\pm mR$  ili  $(+)$   $mR$  i  $(-)$   $mR$ , koji se razlikuju jedan od drugoga dakako samo svojim položajem spram kristalnih osi; jedan je od drugoga zaokrenut za  $60^\circ$ . Kad određujemo forme ovoga kristalnoga razreda, odabiramo jedan romboedar kao osnovni i dajemo mu znak  $R$ ; svi romboedri  $mR$ , koji su istoga položaja kao osnovni  $R$  imaju pozitivni predznak, pozitivni su, a svi oni  $mR$ , koji su spram osnovnoga  $R$  zaokrenuti za  $60^\circ$ , imaju negativan predznak, negativni su; pozitivan se znak obično ne bilježi.

Ako za neki mineral, koji se kristalizuje u romboedrijskoj hemiedriji, odredimo osnovni romboedar  $R$ , može se razviti taj mineral i sa takvim romboedrom, koji će jednako otupljivati ovršne bridove osnovnoga  $R$ ; takav romboedar ima glavnu os jednake dužine kao i osnovni  $R$ , a suosi dva puta tako duge, ili uz jednake suosi ima glavnu os za polovicu kraću od osnovnog  $R$ ; budući da je taj romboedar zaokrenut od osnovnog za  $60^\circ$ , ima negativan predznak, dakle  $-\frac{1}{2}R$  (prvi tupi romboedar). Tome romboedru može da otupljuje ovršne bridove neki drugi romboedar, kojega će glavna os imati tek  $\frac{1}{4}$  dužine glavne osi osnovnoga  $R$ , pa će mu znak biti  $-\frac{1}{4}R$  (drugi tupi romboedar). Ovome opet romboedru može da otupljuje ovršne bridove romboedar, kojega će glavna os imati  $\frac{1}{8}$  dužine glavne osi osnovnoga  $R$ , pa će mu znak biti  $-\frac{1}{8}R$  (treći tupi romboedar) i t. d. Može biti da osnovni  $R$  otupljuje ovršne bridove šiljatoga romboedra. Takav će šiljati romboedar imati uz jednaku dužinu glavne osi osnovnoga  $R$  za polovicu kraće suosi, ili uz istu dužinu suosi bit će mu glavna os 2 puta duža od glavne osi osnovnoga  $R$ , dakle  $2R$  (prvi šiljati romboedar); ovome će romboedru otupljivati ovršne bridove drugi romboedar, koji će imati glavnu os 4 puta dužu od glavne osi osnovnoga  $R$ , dakle  $4R$  (drugi šiljati romboedar); tome pako romboedru otupljivati će ovršne bridove romboedar, koji će imati glavnu os 8 puta dužu od glavne osi osnovnoga  $R$ , dakle  $8R$  (treći šiljati romboedar) i t. d.

Skalenoedar, koji je postao iz diheksagonske bipiramide, ima 12 ploha forme ranostranična trokuta. U 2 ugla, kroz koja prolazi glavna os, sijeku se po 6 kraćih šiljatijih ovršnih bridova i po 6 duljih tupljih ovršnih bridova. U 6 uglova sijeku se po dva ovršna brida i po 2 osnovna brida. Osnovnih je bridova 6 i oni ne leže u jednoj ravnini, nego, kao romboedrovi bridovi, dižu se i spuštaju koso naizmjenice; sredinom njihovom prolaze suosi. Osnovni bridovi skalenoedra imaju isti položaj kao i osnovni bridovi budi kojega romboedra; taj romboedar zovemo upisanim romboedrom (sl. 339.). Skalenoedar, kojega tupi ovršni bridovi leže iznad ploha pozitivnoga romboedra, jest pozitivan; ako u tom položaju leže šiljati ovršni bridovi, skalenoedar je negativan.

Kako je glavna os duža ili kraća, može biti skalenoedara šiljatijih i tupljih. Kao polulik diheksagonske bipiramide  $mPn$  morao bi imati znak  $\frac{mPn}{2}$ , ali Naumann ga izvodi iz upisanoga romboedra  $mR$ , pa mu je općeni znak  $mRn$ , gdje koeficijenti  $mn$  imaju posve drugo značenje negoli u diheksagonskoj bipiramidi; koeficijent  $n$ , ima da stoji iza  $P$ , ne odnosi se na suos, nego na glavnu os upisanoga romboedra  $mR$ ; tako na pr.  $2R3$  znači skalenoedar, u kom je upisan romboedar  $2R$ , ali je glavna os skalenoedra 3 puta duža od upisanoga romboedra  $2R$ ;  $R5$  znači skalenoedar, u kom je upisan osnovni romboedar  $R$ , ali je glavna os skalenoedra 5 puta duža od upisanoga osnovnoga  $R5$  i t. d.

Kako ćemo naći znak skalenoedra  $mRn$  iz diheksagonske bipiramide  $\frac{mPn}{2}$ , na pr.  $xRy$ ? Iz formule  $x = \frac{m(2-n)}{n}$ ;  $y = \frac{n}{2-n}$ . Na pr.  $3P\frac{3}{2}$

$$x = \frac{3(2-\frac{3}{2})}{\frac{3}{2}} = \frac{6-\frac{9}{2}}{\frac{3}{2}} = \frac{\frac{12-9}{2}}{\frac{3}{2}} = \frac{\frac{3}{2}}{\frac{3}{2}} = 1; \text{ dakle } x = 1.$$

$$y = \frac{\frac{3}{2}}{2-\frac{3}{2}} = \frac{3}{4-3} = \frac{3}{1},$$

dakle  $y = 3$  ili  $3P\frac{3}{2} = R3$ .

Iz Naumannova znaka za skalenoedar  $mRn$  dobit ćemo Bravaisov znak za skalenoedar  $h\bar{k}l$  po ovoj formuli:

$$h = n + 1, i = n - 1, \bar{k} = -2n, l = \frac{2}{n}$$

Na pr.  $2R2 = h\bar{k}l$

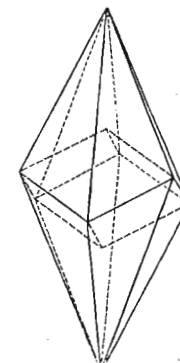
$$h = 2 + 1 = 3, i = 2 - 1 = 1, k = 2 \cdot 2 = 4, l = \frac{2}{2} = 1; \text{ dakle } 2R2 = \{3\bar{1}41\}.$$

Iz Bravaisova znaka ( $h\bar{k}l$ ) dobit ćemo Naumannov znak  $mRn$  po formuli:

$$m = \frac{h-i}{1}, n = \frac{h+i}{h-i}.$$

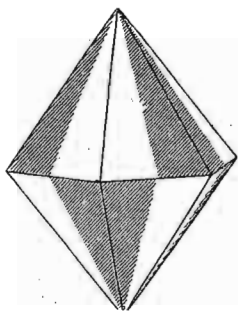
Na pr.  $\{3\bar{1}41\} = mRn$

$$m = \frac{3-1}{1} = \frac{2}{1} = 2, n = \frac{3+1}{3-1} = \frac{4}{2} = 2; \text{ dakle } \{3\bar{1}41\} = 2R2.$$

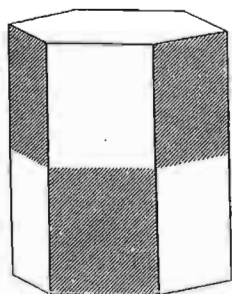


Sl. 339.

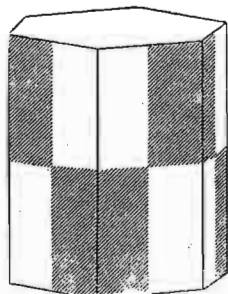
Da deuteropiramida (sl. 340.), protoprizma (sl. 341.), deuteroprizma (sl. 342.) i diheksagonska prizma (sl. 343.) ostaju u ovoj hemiedriji geometrijski nepromijenjene, vidi se iz sl. 340.—343.



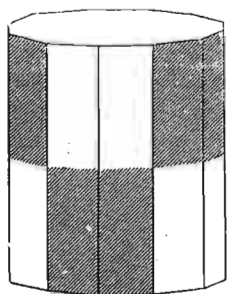
Sl. 340.



Sl. 341.



Sl. 342.

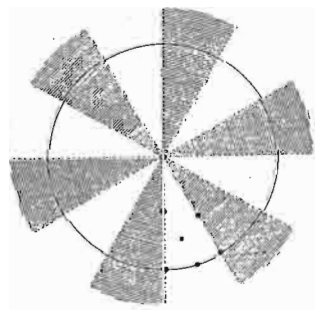


Sl. 343.

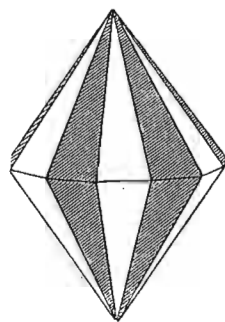
Od minerala, koji se kristalizuju u ovoj hemiedriji, spomenut ćemo kalcit.

✓ *V. Piramidska hemiedrija* (17. kristalni razred) obuhvata forme heksagonskoga sustava, gdje se je ušćevala glavna ravnina simetrije, jedna heksagonska os simetrije i centar simetrije.

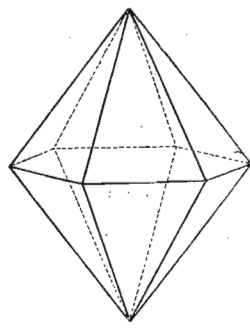
Novе geometrijske forme daje samo diheksagonska bipiramida i diheksagonska prizma (sl. 344.), dok sve druge forme ostaju geometrijski nepromijenjene, kako se razabira iz slike 349. do 352. Diheksagonska bipiramida (sl. 345.) raspada se u dvije *heksagonske bipiramide III. reda* (sl. 346.), pozitivnu  $\{hk\bar{l}\}$  i negativnu  $\{i\bar{k}hl\}$ , koje su geometrijski jednake bipiramidama I. i II. reda, ali se razlikuju od njih svojim položajem spram suosi (sl. 347.), jer suosi ne izlaze ni u uglovima ni u sredini osnovnih bridova, nego izvan središta tih bridova. Plohe su asimetrijske.



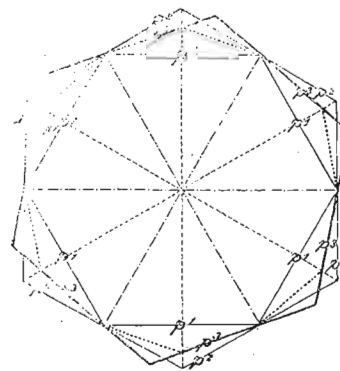
Sl. 344.



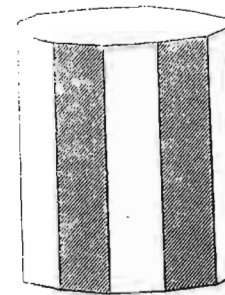
Sl. 345.



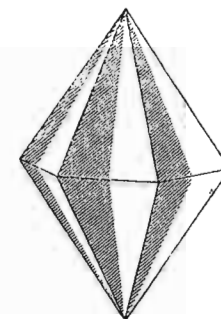
Sl. 346.



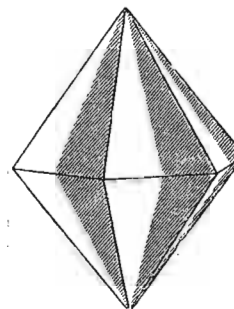
Sl. 347.



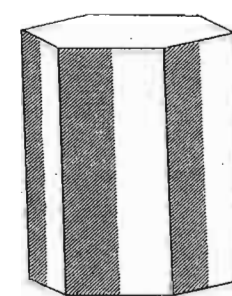
Sl. 348.



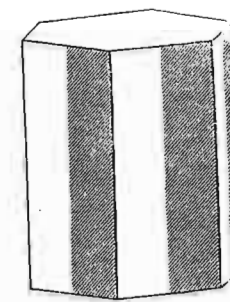
Sl. 349.



Sl. 350.



Sl. 351.



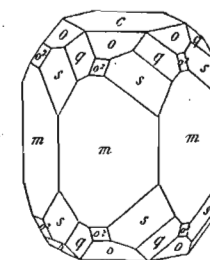
Sl. 352.

Diheksagonska prizma (sl. 348.) raspada se u dvije *heksagonske prizme III. reda* pozitivnu  $\{hk\bar{l}0\}$  i negativnu  $\{i\bar{k}h0\}$ , koje su geometrijski jednake prizmi I. i II. reda ali se razlikuju od njih svojim položajem spram suosi kao i piramide III. reda. Plohe su monosimetrijske.

Od minerala, koji se kristalizuju u ovoj hemiedriji, spomenut ćemo apatit (sl. 353.).

✓ *VI. Trapezodrijska hemiedrija* (18. kristalni razred) postala je iz holoedrije tako, da su se izgubile sve ravnine simetrije i centar simetrije, a ušćevala su se sve osi simetrije, t. j.  $1L^6 + 6L^2$ ; forme su ove hemiedrije dakle enantiomorfne.

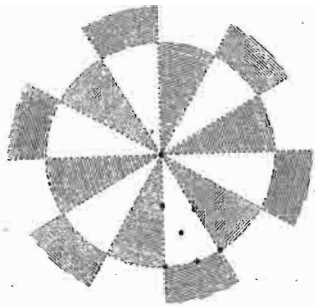
Stereografska projekcija (sl. 354. i sl. 355.—359.) pokazuju, da će nove geometrijske forme dati samo diheksagonska bipiramida (sl. 361.), koja se raspada u dva *heksagonska trapezodra* (sl. 360., 362.), desni  $\{hk\bar{l}\}$  i lijevi  $\{i\bar{k}hl\}$ . Trapezodri su sastavljeni od 12 ploha forme trapeza. U 2 ugla, kroz koja prolazi glavna os, sijeku se po 6 ovršnih bridova. U 6 uglova sijeku se



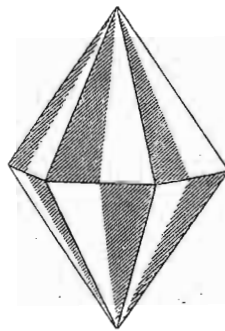
Sl. 353.

po 2 osnovna brida i jedan ovršni. Osnovni su bridovi naizmjenice dulji i kraći, te se naizmjenice koso dižu i spuštaju.

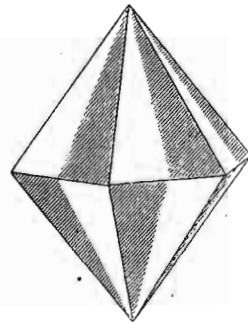
Sve druge forme ostaju geometrijski nepromijenjene.



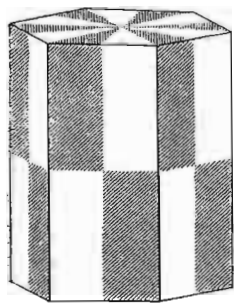
Sl. 354.



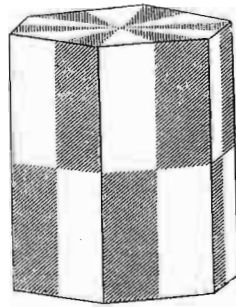
Sl. 355.



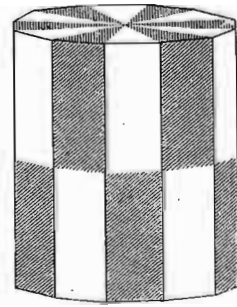
Sl. 356.



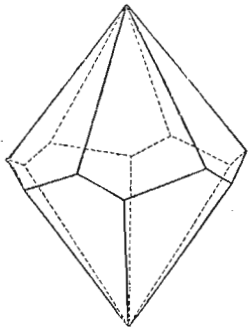
Sl. 357.



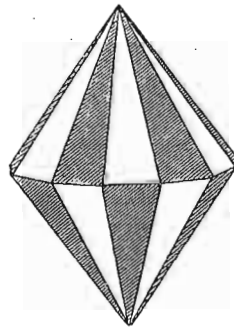
Sl. 358.



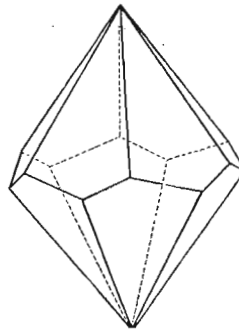
Sl. 359.



Sl. 360.



Sl. 361.



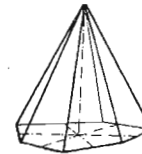
Sl. 362.

Od minerala, koji bi se kristalizovali u ovoj hemiedriji, nije nijedan poznat. Od vještačkih spojeva kristalizuje se u toj hemiedriji antimonilbarijski tartarat — kalijski nitrat ( $C_4H_4O_6$ ) $_2$ (SbO) $_2$ Ba.KNO $_3$  i još neki drugi.

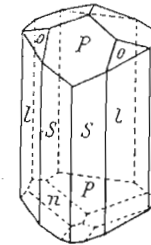
*Tetartoedrija heksagonskoga sustava.* U hemiedriji heksagonskoga sustava ima nekoliko kristalnih razreda, koji imaju ravnine simetrije. Gubitak tih ravnina simetrije dovodi do razvitka novih likova. još nižega stupnja simetrije, pri čemu se neki likovi raspadaju u nove geometrijske likove, a neki ostaju geometrijski nepromijenjeni, no kristalografski su i oni vrlo niskoga stupnja simetrije.

*VII. Hemimorfija trigonske hemiedrije* (19. kristalni razred). Ovu hemimorfiju možemo izvesti ili iz hemimorfije holloedrije (14. kristalni razred), kad se u njoj izgube 3 PS, što dovodi do prelaza heksagonske osi simetrije u trigonsku, ili iz trigonske hemiedrije (15. kristalni razred), kad se izgubi glavna ravnina simetrije, što dovodi do gubitka triju digonskih osi simetrije. Prema tome obuhvata ova tetartoedrija one heksagonske forme, koje imaju samo 3PS, koje se sijeku pod kutom od  $60^\circ$  i  $L^3$ .

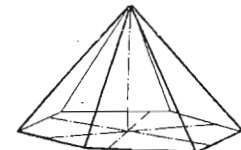
Sve će se bipiramide raspasti u ovom kristalnom razredu u piramide, a bazni pinakoid u dva pediona. Prizme će prijeći u trigonske prizme. Od bipiramide I. reda postat će 4 korelatne *trigonske piramide I. reda* i to 2 gore {h0hl} i {0hhl} i 2 dolje {h0hl} i {0hhl} sa monosimetrijskim plohama; od bipiramide II. reda postat će 2 *piramide II. reda*, 1 gore {h.h.2h.1} i 1 dolje {h.h.2h.} sa asimetrijskim plohama; od diheksagonske bipiramide postat će 4 korelatne *ditrigonske piramide* (sl. 363.), 2 gore {hkl} i {ikh1} i 2 dolje {hkl} i {ikh1} sa asimetrijskim plohama; od heksagonske prizme I. reda postat će 2 korelatne *trigonske prizme I. reda*, pozitivna {10T0} i {01T0} sa monosimetrijskim plohama; od diheksagonske prizme postat će dvije korelatne *ditrigonske prizme*, pozitivna {hkl0} i negativna {ikh0} sa asimetrijskim plohama; od baze postat će 2 korelatna *pediona*, gornji {0001} i donji {000T} sa trisimetrijskom plohom.



Sl. 363.



Sl. 364.



Sl. 365.

Od minerala, koji se kristalizuju u ovoj hemimorfiji, spomenut ćemo turmalin (sl. 364.).

*VIII. Hemimorfija piramidske hemiedrije* (20. kristalni razred) postaje iz piramidske hemiedrije gubitkom glavne ravnine simetrije; prema tome

ona je karakterizovana samo sa jednom heksagonskom osi simetrije  $L^6$ ; forme su enantiomorfne. Bipiramide piramidske hemiedrije raspadaju se u po 2 korelatne piramide, a bazni pinakoid u dva korelatna pediona.

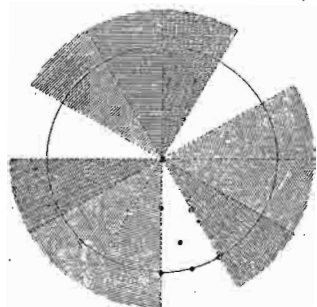
Od heksagonske bipiramide I. reda razvijaju se 2 heksagonske *piramide I. reda* 1 gore  $\{h0hl\}$  i 1 dolje  $\{h0h\bar{l}\}$ ; od heksagonske bipiramide II. reda razvijaju se 2 *heksagonske piramide II. reda*, gore  $\{h.h.2h.l\}$  i dolje  $\{h.h.2h.\bar{l}\}$ ; od diheksagonske bipiramide razvijaju se 4 *heksagonske piramide III. reda* (sl. 365.), 2 gore  $\{hk\bar{l}l\}$  i  $\{i\bar{k}hl\}$ , 2 dolje  $\{hkll\}$  i  $\{ikh\bar{l}\}$ ; od diheksagonske prizme razvijaju sa dvije *heksagonske prizme III. reda*, pozitivna  $\{hk\bar{l}0\}$  i negativna  $\{ikh\bar{0}\}$ ; od baznoga pinakoida razvijaju se 2 *pediona*, gornji  $\{0001\}$  i donji  $\{000\bar{1}\}$ . Plohe su svih forma ovoga kristalnoga razreda asimetrijske.

Od minerala kristalizuje se u ovoj tetartoedriji na pr. nefelin.

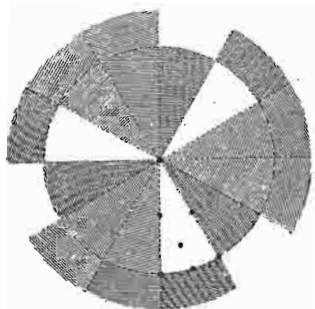
*IX. Trigonska tetartoedrija* (21. kristalni razred) postaje iz trigonske hemiedrije (15. kristalni razred) tako, da se izgube 3PS i  $3L^2$ . Prema tome forme ove tetartoedrije imaju jednu horizontalnu ravninu simetrije i jednu vertikalnu  $L^3$ .

Iz stereografske projekcije (sl. 366.) razabira se način raspadanja pojedinih formi u nove likove. Heksagonska bipiramida I. reda raspada se u dvije korelatne *trigonske bipiramide I. reda*  $\{h0hl\}$  i  $\{0hhl\}$  sa 6 asimetrijskih ploha; heksagonska bipiramida II. reda raspada se u 2 korelatne *trigonske bipiramide II. reda* sa 6 asimetrijskih ploha  $\{h.h.2h.l\}$  i  $\{2h.h.h.l\}$ ; diheksagonska bipiramida raspada se u 4 korelatne *bipiramide III. reda* svaka sa 6 asimetrijskih ploha  $\{hk\bar{l}l\}$  i  $\{kh\bar{l}l\}$ ,  $\{ikh\bar{l}\}$  i  $\{i\bar{h}kl\}$ ; heksagonska prizma I. reda raspada se u 2 *korelatne trigonske prizme I. reda*  $\{10\bar{1}0\}$  i  $\{01\bar{1}0\}$  sa 3 monosimetrijske plohe; heksagonska prizma II. reda raspada se u 2 korelatne *trigonske prizme II. reda*  $\{11\bar{2}0\}$  i  $\{2\bar{1}\bar{1}0\}$  sa po 3 monosimetrijske plohe; diheksagonska prizma raspada se u 4 korelatne *trigonske prizme III. reda*  $\{hk\bar{l}0\}$  i  $\{kh\bar{l}0\}$ ,  $\{ikh\bar{0}\}$ ,  $\{i\bar{h}k\bar{0}\}$  sa po 3 monosimetrijske plohe;

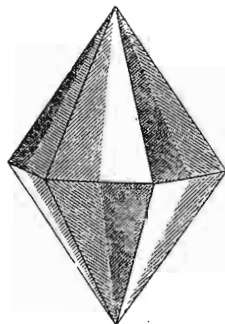
bazni pinakoid sastavljen je od 2 paralelne asimetrijske plohe.



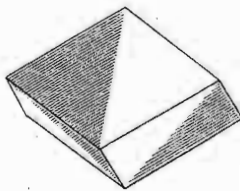
Sl. 366.



Sl. 367.

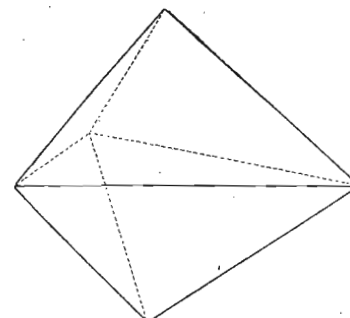


Sl. 368.

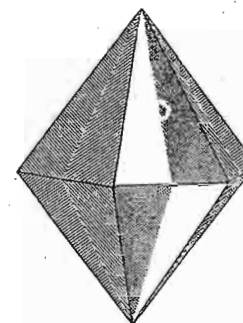


Sl. 369.

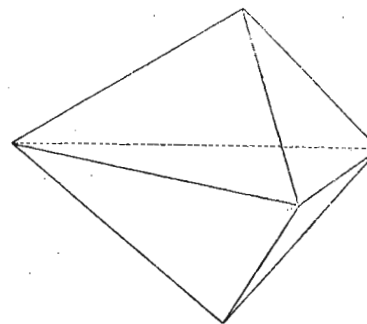
Do danas nije nadjen ni jedan mineral, ni vještački spoj, koji bi se kristalizovao u trigonskoj tetartoedriji.



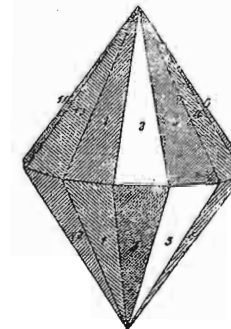
Sl. 370.



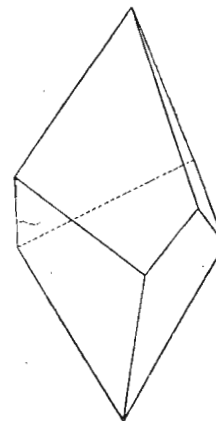
Sl. 371.



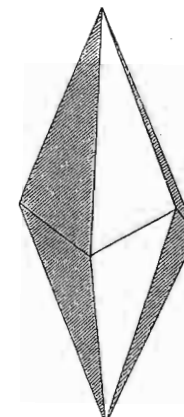
Sl. 372.



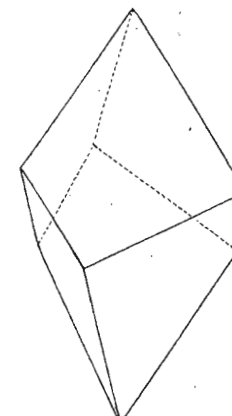
Sl. 373.



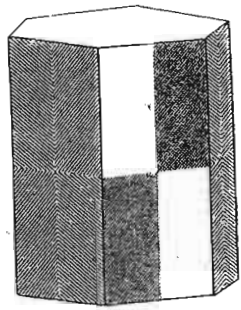
Sl. 374.



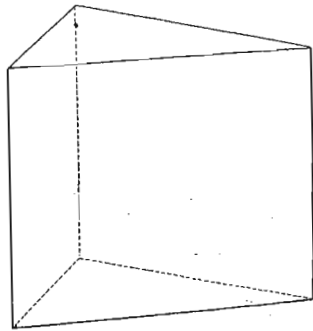
Sl. 375.



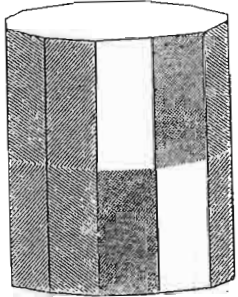
Sl. 376.



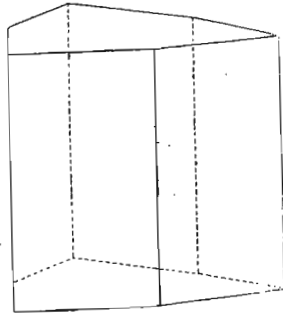
Sl. 377.



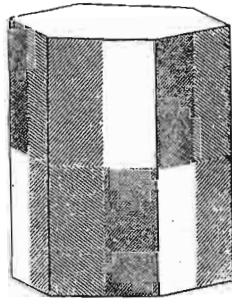
Sl. 378.



Sl. 379.



Sl. 380.



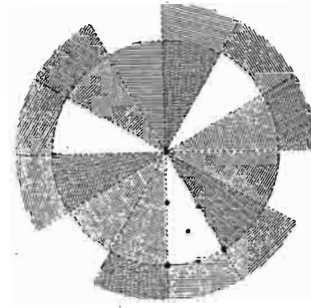
Sl. 381.

X. Trapezoedrijska tetartoedrija (22. kristalni razred); možemo je izvesti iz romboedrijske hemiedrije na taj način, da se izgube tri sporedne ravnine simetrije (sl. 367.), koje povlače za sobom i gubitak centra simetrije. Prema tome forme trapezoedrijske tetartoedrije imaju samo 4L i to  $1L^3 + 3L^2$ ; forme su enantiomorfne.

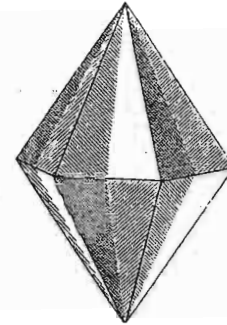
Heksagonska bipiramida I. reda (sl. 368.) raspast će se u 2 romboedra\* (sl. 369.) pozitivan {h0hl} i negativan {0hhl} sa asimetrijskim plohama; heksagonska bipiramida II. reda (sl. 371.) raspast će se u 2 korelaine trigonske bipiramide II. reda (sl. 370., 372.), desnu {h.h.2h.1} i lijevu {2h.h.h.1} sa asimetrijskim plohama; diheksagonska bipiramida (sl. 373.) raspast će se u 4 trigonska trapezoedra; u 2 desna, pozitivni {hkil} i negativni {k̄ihl} i u 2 lijeva (sl. 374., 376.) pozitivni {ikh} i negativni {k̄ih}, koji su sastavljeni svaki od 6 asimetrijskih ploha; trapezoedri mogu postati i iz skatenoedra (sl. 375.); heksagonska prizma II. reda (sl. 377.) raspada se u 2 trigonske prizme II. reda (sl. 378.), desnu {1120} i lijevu {2110}; diheksagonska prizma (sl. 379.) raspast će se u dvije ditrigonske prizme, desnu {hki0} (sl. 380.) i lijevu {īkh0}. Heksagonska prizma I. reda ostaje geometrijski nepromijenjena (sl. 381.).

Kristali ove tetartoedrije odlikuju se cirkularnom polarizacijom. Od minerala pojavljuje se u ovom kristalnom razredu na pr. kremen.

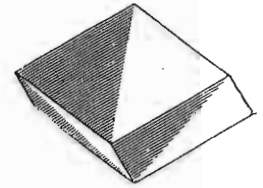
XI. Romboedrijska tetartoedrija (23. kristalni razred); može se izvesti iz piramidske hemiedrije, da se izgubi glavna ravnina simetrije (sl. 382.), pri čemu se heksagonska os simetrije pretvori u trigonsku os simetrije. Prema tome ovaj kristalni razred ima jednu vertikalnu trigonsku os simetrije i centar simetrije.



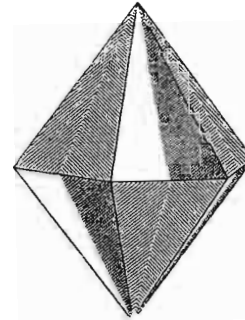
Sl. 382.



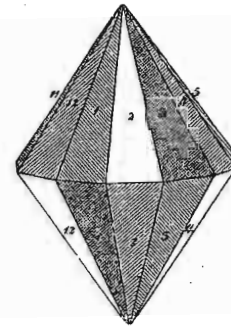
Sl. 383.



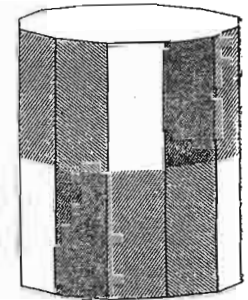
Sl. 384.



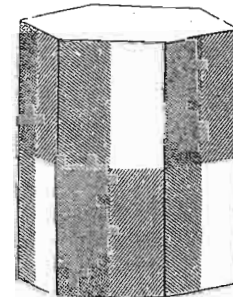
Sl. 385.



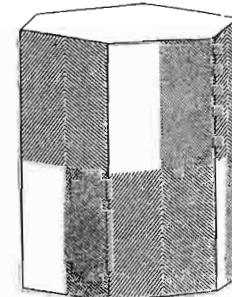
Sl. 386.



Sl. 387.



Sl. 388.



Sl. 389.

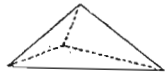
Heksagonska bipiramida I. reda (sl. 383.) raspada se u 2 romboedra I. reda (sl. 384.)  $\{h0hl\}$  i  $\{0hhl\}$ , koji se razlikuju od romboedra hemiedrije svojim asimetrijskim plohama; heksagonska bipiramida II. reda (sl. 385.) raspada se u 2 romboedra II. reda  $\{h.h.2h.1\}$  i  $\{2h.h.h.1\}$ , koji se razlikuju od romboedra hemiedrije svojim asimetrijskim plohama i svojim položajem spram suosi; diheksagonska bipiramida (sl. 386.) raspada se u 4 romboedra III. reda  $\{hkil\}$  i  $\{ikhl\}$ ,  $\{kihl\}$  i  $\{khil\}$ , koji se razlikuju od romboedra hemiedrije asimetrijom svojih ploha i položajem tih ploha prema suosima; diheksagonska prizma (sl. 387.) raspada se u 2 heksagonske prizme III. reda  $\{hk\bar{i}0\}$  i  $\{kh\bar{i}0\}$ , koje se razlikuju od prizme I. i II. reda asimetrijom svojih ploha i položajem tih ploha prema suosima. Ostale forme jednake su kao i u holodriji (sl. 388., 389.), samo su im plohe asimetrijske.

Od minerala kristalizuje se u ovoj tetartoedriji na pr. dolomit.

**Ogdoedrija heksagonskoga sustava.** U hemimorfiji trigonske hemiedrije (19. kristalni razred) ušćivale su se još tri sporedne ravnine simetrije, a u trigonskoj tetartoedriji (21. kristalni razred) jedna glavna ravnina simetrije; mogu se dakle i te ravnine simetrije izgubiti, pa će doći do razvitka kristala heksagonskoga sustava sa najnižim stupnjem simetrije, gdje će se holodri raspasti u osmine, u ogdoedre; na taj će se način razviti

**XII. Hemimorfija trigonske tetartoedrije** (24. kristalni razred), koja nema ni jedne ravnine simetrije, nego samo jednu vertikalnu trigonsku os simetrije. Forme su ove ogdoedrije enantiomorfne. Iz trigonskih bipiramida

hemimorfije trigonske hemiedrije i trigonske tetartoedrije razvijaju se trigonske piramide kao nove geometrijske forme (sl. 390.).



Sl. 390.

Od minerala nije ni jedan poznat, koji bi se kristalizovao u ogdoedriji, a od vještačkih spojeva kristalizuje se u tom kristalnom razredu natrijski perjodat  $\text{Na}_2\text{J}_2\text{O}_8 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ .

Heksagonski sustav obuhvata dakle 12 kristalnih razreda, 1 holodriju, 5 hemiedrija, 5 tetartoedrija i 1 ogdoedriju.

Od 565 tačno proučenih minerala kristalizuju se u heksagonskom sustavu 71; od toga 8 u holodriji.

Neki kristalografi (na pr. P. Groth) dijele heksagonski sustav u dva samostalna sustava: u *trigonski* i *heksagonski*. Trigonski obuhvata 7 kristalnih razreda: trigonsku hemiedriju (15. kr. r.), romboedrijsku hemiedriju (16. kr. r.), hemimorfiju trigonske hemiedrije (19. kr. r.), trigonsku tetartoedriju (21. kr. r.), trapezoedrijsku tetartoedriju (22. kr. r.), romboedrijsku tetartoedriju (23. kr. r.), hemimorfiju trigonske tetartoedrije ili ogdoedriju (24. kr. r.). Heksagonski sustav obuhvata holodriju (13. kr. r.), hemimorfiju holodrije (14. kr. r.), piramidsku hemiedriju (17. kr. r.), trapezoedrijsku hemiedriju (18. kr. r.) i hemimorfiju piramidske hemiedrije (20. kr.).

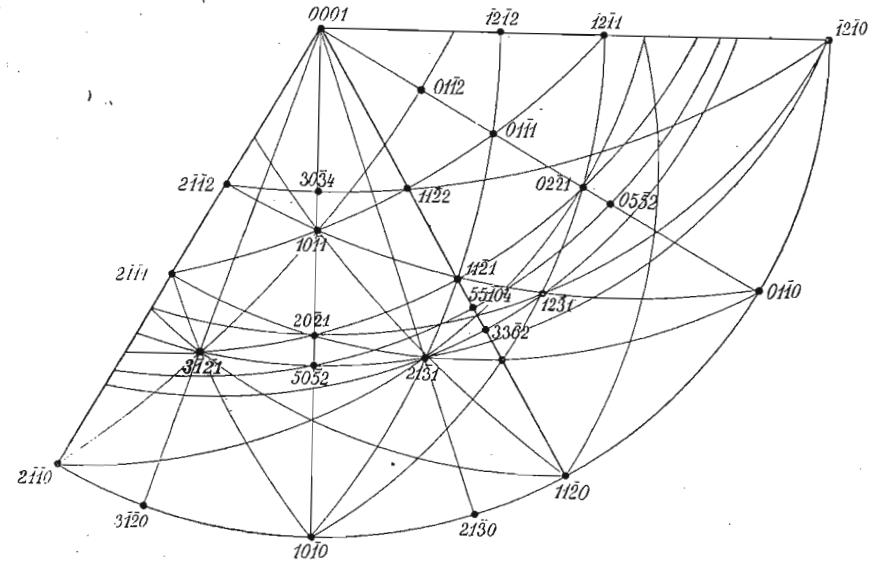
**Izračunavanje osnovga odnosa, kutova (uglova) i znakova kristalnih formi heksagonskoga sustava.<sup>1)</sup>**

Budući da je u heksagonskom sustavu glavna os  $c$  duža ili kraća, moramo odrediti njen odnos spram suosii  $a : a : a : c$  ili  $1 : 1 : 1 : \frac{c}{a}$ ; kako je tu samo jedan element ne-

1) P. Groth: Physikalische Krystallographie, Vierte Auflage, pag. 580.

poznat, veličina  $c$ , dovoljno je mjerenje samo jednoga kuta (ugla), iz koga ćemo izračunati tu veličinu  $c$ .

a) Traži se u protopiramidi ovršni brid  $(10\bar{1}1) : (01\bar{1}1)$  (sl. 391.) iz osnovnoga  $(10\bar{1}1) : (10\bar{1}0)$  i obrnuto: osnovni brid iz ovršnoga.



Sl. 391.

1. Poznat je kod kremenja osnovni brid protopiramide  $(10\bar{1}1) : (10\bar{1}0) = 38^\circ 12' 50''$ , neka se nadje ovršni brid  $(10\bar{1}1) : (01\bar{1}1)$ . Rješenje daje sferni pravokutni trokut  $(0001)$ ,  $(11\bar{2}2)$ ,  $(10\bar{1}1)$ , (sl. 392.), gdje je poznata zadata stranica  $(0001) : (10\bar{1}1)$  kao dopunjak zadatoga kuta do  $90^\circ$  i kut kod C  $(0001) = 30^\circ$ .

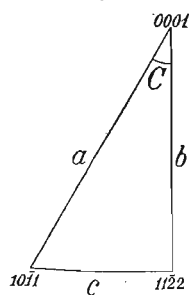
$$\begin{aligned} \sin c &= \sin a \cdot \sin C \\ &= 89^\circ 59' 60'' \\ &= 38^\circ 12' 50'' \\ a &= 51^\circ 47' 10'' \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \log \sin a \ 51^\circ 47' 10'' &= 9.89526 \\ \log \sin C \ 30^\circ &= 9.69897 \\ \hline \log \sin c &= 9.59423 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c \ (10\bar{1}1) : (11\bar{2}2) &= 23^\circ 7' 56'' \\ 2c \ (10\bar{1}1) : (01\bar{1}1) &= 46^\circ 15' 52''. \end{aligned}$$

2. Poznat je kod kremenja ovršni brid protopiramide  $(10\bar{1}1) : (01\bar{1}1) = 46^\circ 15' 52''$  ili u polovici  $(10\bar{1}1) : (11\bar{2}2) = 23^\circ 7' 56''$ ; neka se nadje osnovni brid  $(10\bar{1}1) : (10\bar{1}0)$ . Rješenje daje sferni pravokutni trokut  $(0001)$ ,  $(10\bar{1}1)$ ,  $(11\bar{2}2)$  (sl. 392.), gdje je poznat luk  $(10\bar{1}1) : (11\bar{2}2)$  i kut kod C  $(0001) = 30^\circ$ .





Sl. 392.

$$\sin a = \frac{\sin c}{\sin C}$$

$$\log \sin 23^\circ 7' 56'' = 9.59423$$

$$\log \sin 30^\circ = 9.69897$$

$$\log \sin a \text{ (0001) : (1011)} = 9.89526$$

$$a \text{ (0001) : (1011)} = 51^\circ 47' 11''$$

$$\begin{array}{r} 89^\circ 59' 60'' \\ 51^\circ 47' 11'' \\ \hline 38^\circ 12' 49'' \end{array}$$

$$(1011) : (1010) = 38^\circ 12' 49''$$

b) Traži se u deuteropiramidi ovršni brid (1122) : (2112) iz osnovnoga (1122) : (1120) i obratno: osnovni brid iz ovršnoga.

1. Poznat je kod kremena osnovni brid deuteropiramide (1122) : (1120) = 42° 16' 30"; neka se nadje ovršni brid (1122) : (2112). Rješenje daje sferni pravokutni trokut (sl. 393.) (0001), (3034), (1122), gdje je poznat kut kod C (0001) = 30° i luk (0001) : (1122) kao dopunjak zadatoga kuta do 90°.

$$\sin c = \sin a \cdot \sin C$$

$$\begin{array}{r} 89^\circ 59' 60'' \\ 42^\circ 16' 30'' \\ \hline 47^\circ 43' 30'' \end{array}$$

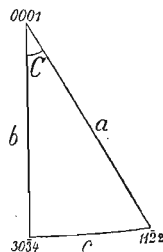
$$\log \sin 47^\circ 43' 30'' = 9.86918$$

$$\log \sin 30^\circ = 9.69897$$

$$\log \sin c = 9.56815$$

$$c \text{ (1122) : (3034)} = 21^\circ 42' 47''$$

$$2c \text{ (1122) : (2112)} = 43^\circ 25' 34''$$



Sl. 393.

2. Poznat je kod kremena ovršni brid deuteropiramide (1122) : (3034) = 21° 42' 47"; neka se nadje osnovni brid (1122) : (1120). Rješenje daje sferni pravokutni trokut (0001), (1122), (3034) (sl. 393.), gdje je poznat kut kod C (0001) = 30° i zadati kut (1122) : (3034).

$$\sin a = \frac{\sin c}{\sin C}$$

$$\log \sin 21^\circ 42' 47'' = 9.56815$$

$$\log \sin 30^\circ = 9.69897$$

$$\log \sin a = 9.86918$$

$$(0001) : (1122) = 47^\circ 43' 30''$$

$$\begin{array}{r} 89^\circ 59' 60'' \\ 47^\circ 43' 30'' \\ \hline 42^\circ 16' 30'' \end{array}$$

$$(1122) : (1120) = 42^\circ 16' 30''$$

c) Traži se osni odnos  $\frac{c}{a}$  ili  $c$ ; njega daje tangenta luka (0001) : (1122), koji se može izračunati iz osnovnoga ili ovršnoga brida; ili općenito: ima se izračunati nagib one deuteropiramide, koja otupljuje ovršni brid osnovne protopiramide; ta deuteropiramida ima istu veličinu glavne osi kao i protopiramida.

Primjer: Poznat je kod kremena luk (0001) : (1122) = 47° 43' 30''.

$$\log \operatorname{tg} 47^\circ 43' 30'' = 0.04138$$

$$\text{numerus od } 0.04138 \text{ jest } 1.0999$$

$$a : c = 1 : 1.0999$$

Može biti mjereno osnovni kut protopiramide (1011) : (1010), pa onda znamo luk (0001) : (1011) u trokutu (0001), (1011), (1122) (sl. 392.), gdje ćemo naći luk (0001) : (1122), koji u tg daje osni odnos  $c$ .

Primjer: Mjeren je kod hematita (0001) : (1011) = 57° 37' 4''.

$$c = \operatorname{tg} b = \operatorname{tg} a \cdot \cos C \text{ (30^\circ)}$$

$$\log \operatorname{tg} 57^\circ 37' 4'' = 0.19779$$

$$\log \cos 30^\circ = 9.93753$$

$$\log \operatorname{tg} b = 0.13532$$

$$\text{numerus od } 0.13532 \text{ jest } 1.3655$$

$$a : c = 1 : 1.3655$$

Općenito:  $c = \operatorname{tg} (0001) : (h0h1) \cdot \cos 30^\circ$ .

d) Iz osnovnoga odnosa  $\frac{c}{a}$  može se izračunati osnovni ili ovršni kut protopiramide i deuteropiramide.

1. Traži se osnovni brid protopiramide. Postupak je obrnut od onoga kod hematita pod c); u sfernom pravokutnom trokutu (0001), (1122), (1011) prije tražena stranica (0001) : (1122) sada je poznata stranica.

Primjer: Traži se osnovni brid (1011) : (1010) protopiramide kod korunda, gdje je  $a : c = 1 : 1.363\dots$  Osni odnos  $c = \operatorname{tg} b$  (0001) : (1122). Toj se tangenti nadje njezin kut i tako dobijemo vrijednost za (0001) : (1122), pa riješimo sferni pravokutni trokut (0001), (1122), (1011) (sl. 392.). Dakle:

$$c = \operatorname{tg} b = 1.363\dots$$

$$\log \operatorname{tg} b = 0.13450$$

$$b \text{ (0001) : (1122)} = 53^\circ 44' 2''$$

Sad znamo u trokutu (0001), (1122), (1011) stranicu  $b$  (0001) : (1122) i kut kod C (0001) = 30°, pa ćemo naći kut osnovnoga brida (1011) : (0001) protopiramide:

$$\operatorname{tg} a = \frac{\operatorname{tg} b}{\cos C} = \frac{\operatorname{tg} 53^\circ 44' 2''}{\cos 30^\circ}$$

$$\log \operatorname{tg} 53^\circ 44' 2'' = 0.13450$$

$$\log \cos 30^\circ = 9.93753$$

$$\log \operatorname{tg} a = 0.19697$$

$$a \text{ (0001) : (1011)} = 57^\circ 34' 8''$$

$$(0001) : (1010) = 90^\circ$$

$$(0001) : (1011) = 57^\circ 34' 8''$$

$$(1010) : (1011) = 32^\circ 25' 52''$$

2. Traži se ovršni brid (1011) : (0111) protopiramide kod hematita, gdje je  $a : c = 1 : 1.3655\dots$

$$\operatorname{tg} (0001) : (1122) = 1.3655\dots$$

$$\log \operatorname{tg} (0001) : (1122) = 0.13532$$

$$b \text{ (0001) : (1122)} = 53^\circ 47' 6''$$

$$\operatorname{tg} c = \operatorname{tg} C \cdot \sin b$$

$$\begin{aligned} \log \operatorname{tg} 30^\circ &= 9.76144 \\ \log \sin 53^\circ 47' 6'' &= 9.90677 \\ \log \operatorname{tg} c &= 9.66821 \\ c(11\bar{2}2) : (10\bar{1}1) &= 24^\circ 58' 36'' \\ 2c(10\bar{1}1) : (01\bar{1}1) &= 49^\circ 57' 12'' \end{aligned}$$

3. Traži se osnovni brid  $(11\bar{2}2) : (11\bar{2}0)$  deuteropiramide kod kremenja, gdje je  $a : c = 1 : 1.0999\dots$

$$\begin{aligned} \operatorname{tg}(0001) : (11\bar{2}2) &= 1.0999\dots \\ \log \operatorname{tg}(0001) : (11\bar{2}2) &= 0.04138 \\ (0001) : (11\bar{2}2) &= 47^\circ 43' 30'' \\ &89^\circ 59' 60'' \\ &47^\circ 43' 30'' \\ &42^\circ 16' 30'' \\ (11\bar{2}2) : (11\bar{2}0) &= 42^\circ 16' 30''. \end{aligned}$$

Dosadašnji zonalni krugovi određuju i pol one deuteropiramide, koja leži u zoni prednje plohe protopiramide  $(10\bar{1}1)$  i protoprizme  $(01\bar{1}0)$ , koja joj je na desno, dakle  $[10\bar{1}1, 01\bar{1}0]$ , pa u zoni desne plohe protopiramide  $(01\bar{1}1)$  i prednje plohe protoprizme  $(10\bar{1}0)$ , dakle  $[01\bar{1}1, 10\bar{1}0]$ . Po zonalnim zakonima slijedi, da je znak te deuteropiramide  $(11\bar{2}1)$ . Ploha, kojoj tražimo znak, leži na presjecištu zona  $[10\bar{1}1, 01\bar{1}0]$  i  $[01\bar{1}1, 10\bar{1}0]$ . Treba odrediti znakove tih zona, da iz njih izračunamo znak tražene plohe:

$$\begin{array}{l} [10\bar{1}1, 01\bar{1}0] = ? \\ \begin{array}{cccc|c} 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ \hline & \times & \times & \times & \times & \\ \hline 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ \hline 0 & -1 & = & \bar{1} & & \\ 0 & -0 & = & 0 & & \\ 1 & -0 & = & 1 & & \end{array} \\ [10\bar{1}1, 01\bar{1}0] = [\bar{1}011]; \end{array} \quad \begin{array}{l} [01\bar{1}1, 10\bar{1}0] = ? \\ \begin{array}{cccc|c} 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ \hline & \times & \times & \times & \times & \\ \hline 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ \hline 0 & -0 & = & 0 & & \\ 1 & -0 & = & 1 & & \\ 0 & -1 & = & \bar{1} & & \end{array} \\ [01\bar{1}1, 10\bar{1}0] = [01\bar{1}\bar{1}]. \end{array}$$

Ploha, kojoj tražimo znak, leži na presjecištu zona  $[10\bar{1}1, 01\bar{1}0]$  i  $[01\bar{1}1, 10\bar{1}0]$ , pa ćemo joj naći znak iz zonalnih znakova tih dviju zona, iz  $[\bar{1}011]$  i  $[01\bar{1}\bar{1}]$ :

$$\begin{array}{cccc|c} 0 & 1 & \bar{1} & 0 & 1 & \bar{1} \\ \hline & \times & \times & \times & \times & \\ \hline \bar{1} & 0 & 1 & \bar{1} & 0 & 1 \\ \hline 1 & -0 & = & 1 & & \\ 1 & -0 & = & 1 & & \\ 0 & -\bar{1} & = & 1 & & \end{array}$$

Traženi znak plohe jest  $(11\bar{2}1)$ .

e) Traženje znaka za protopirמידu i deuteropirמידu. Taj ćemo znak naći, ako poznamo osni odnos  $a : c$  i kut protopiramide ili deuteropiramide.

1. Neka se nadje znak protopiramide  $\{h0hl\}$  i deuteropiramide  $\{h.h.2h.l\}$  kod berila, gdje je osni odnos  $a : c = 1 : 0.49885\dots$  a kut protopiramide  $(0001) : (h0hl) = 12^\circ 58' 30''$ .

Nadjemo najprije osni odnos  $a : c$  za traženu plohu  $(h0hl)$  pa ga razdijelimo sa osnim odnosom osnovne piramide  $a : c$  kao u tetragonskom sastavu (sl. 394.):

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} b &= \operatorname{tg} a \cdot \cos 30^\circ \\ \log \operatorname{tg} 12^\circ 58' 30'' &= 9.36250 \\ \log \cos 30^\circ &= 9.93753 \end{aligned}$$

$\log \operatorname{tg} b = 9.30003$ ; numerus od  $0.30003 - 1$  jest  $0.19954$ . Osni odnos  $c'$  za plohu  $(h0hl)$  je  $0.19954\dots$

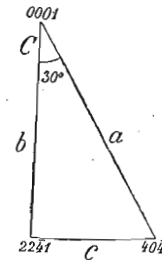
$$c' : c = 0.19954 : 0.49885 = 0.4 = \frac{2}{5}$$

Weissov znak za tu protopirמידu je prema tome  $(a : \infty a : -a : \frac{2}{5} c)$  ili  $(5a : \infty a : -5a : 2c)$ , što odgovara Bravaisovu znaku  $\{20\bar{2}5\}$ . Znak za deuteropirמידu, koja otupljuje ovršni brid protopiramide  $\{20\bar{2}5\}$ , jest  $\{11\bar{2}5\}$ , jer je

$$\begin{array}{l} (20\bar{2}5) \\ (02\bar{2}5) \\ \hline (2.2.4.10) = (11\bar{2}5). \end{array}$$

f) Neka se nadje kut iz zadata znaka. Da nadjemo taj kut, moramo poznavati i osni odnos  $a : c$ .

Primjer: Zadati su kod berila znak  $(40\bar{4}1)$ ; osni odnos berila  $a : c = 1 : 0.49885$ . Koliki je kut  $(40\bar{4}1) : (0001)$ ? U sfernom pravokutnom trokutu  $(0001)$ ,  $(22\bar{4}1)$ ,  $(40\bar{4}1)$  sl. 395. poznat je kut kod C  $(0001) = 30^\circ$ ; stranicu  $b(0001) : (22\bar{4}1)$  izračunamo iz  $(2a : 2a : -a : 4c)$ . Moramo dakle osni odnos pomnožiti sa 4:



Sl. 395.

$$\begin{aligned} & \frac{0.49885 \times 4}{1.99540} \\ & \operatorname{tg} b = 1.99540 \\ & \log \operatorname{tg} b = 0.30003 \\ b(0001) : (22\bar{4}1) &= 63^\circ 22' 56'' \\ \operatorname{tg} a &= \frac{\operatorname{tg} b}{\cos C} \\ \log \operatorname{tg} 63^\circ 22' 56'' &= 0.30003 \\ \log \cos 30^\circ &= 9.93753 \\ \log \operatorname{tg} a &= 0.36250 \\ a(0001) : (40\bar{4}1) &= 66^\circ 32' 18''. \end{aligned}$$

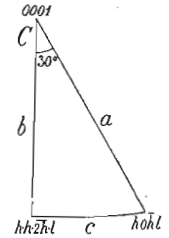
g) Traženje znakova i kutova kod diheksagonskih piramida i prizmi. Ako je mjereno kut diheksagonske prizme,  $\infty P_n$  sa protoprizmom, t. j.  $(hi\bar{k}0) : (10\bar{1}0)$ , mogu se iz njega naći znaci za diheksagonsku prizmu  $\{hi\bar{k}0\}$ ; obratno: iz znakova možemo naći kut C  $(0001)$  u trokutu  $(0001)$ ,  $(10\bar{1}0)$ ,  $(hi\bar{k}0)$  po formuli:

$$\cotg C = \frac{2k-i}{i} \cdot \cotg 60^\circ,$$

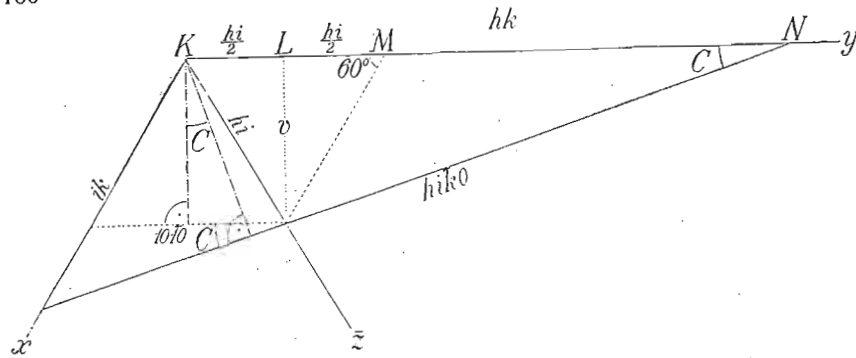
koju smo izveli iz slike 396.:

$$hi\bar{k}0 \cdot \frac{1}{h} : \frac{1}{i} : \frac{1}{k} \Big| \cdot hik, \\ ik : hk : hi$$

Weissov je znak za diheksagonsku prizmu  $\{hi\bar{k}0\} = (ika : hka : -hia : \infty)$ .



Sl. 394.



Sl. 396.

$$v = LM \cdot \operatorname{tg} 60^\circ = \frac{hi}{2} \cdot \operatorname{tg} 60^\circ$$

$$v = LN \cdot \operatorname{tg} C = (KN - KL) \cdot \operatorname{tg} C = \left( hk - \frac{hi}{2} \right) \cdot \operatorname{tg} C$$

$$\left( hk - \frac{hi}{2} \right) \cdot \operatorname{tg} C = \frac{hi}{2} \cdot \operatorname{tg} 60^\circ$$

$$2hk \cdot \operatorname{tg} C - hi \cdot \operatorname{tg} C = hi \cdot \operatorname{tg} 60^\circ : \operatorname{tg} C$$

$$2hk - hi = hi \cdot \operatorname{tg} 60^\circ \cdot \frac{1}{\operatorname{tg} C}$$

$$2hk - hi = hi \cdot \operatorname{tg} 60^\circ \cdot \operatorname{cotg} C : hi \cdot \operatorname{tg} 60^\circ$$

$$\operatorname{cotg} C = \frac{2hk - hi}{hi} \cdot \frac{1}{\operatorname{tg} 60^\circ}$$

$$\operatorname{cotg} C = \frac{2k - i}{i} \cdot \operatorname{cotg} 60^\circ.$$

Ako znamo  $k$  i  $i$ , možemo naći  $C$ .

1.) Traže se iz znakova kutovi. Zadat je kod berila znak (2131), po kome znamo znak diheksagonske prizme (2130), znak protopiramide (5052) i znak deuteropiramide (3362), koje otupljuju bridove diheksagonske piramide, a traže se ovršni kutovi (3121) : (2131) i (2131) : (2131) ili njihove polovice (5052) : (2131) i (2131) : (3362). Rješenje toga nalazimo u dva sferna pravokutna trokuta (0001), (5052), (2131) (sl. 397.) i (2131), (3362), (0001) (sl. 399.). U trokutu (0001), (5052), (2131) izračuna se kut kod  $C$  (0001) iz znaka (2130) po formuli

$$\operatorname{cotg} C = \frac{2k - i}{i} \cdot \operatorname{cotg} 60^\circ; \text{ u trokutu (2131), (3362), (0001) izračuna se } C' \text{ kao dopunjak } C \text{ do } 30^\circ. \text{ Dakle:}$$

$$C = ?$$

$$\frac{2k - i}{i} = \frac{6 - 1}{1} = 5$$

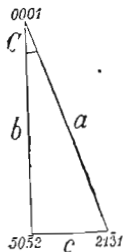
$$\operatorname{cotg} C = 5 \cdot \operatorname{cotg} 60^\circ$$

$$\log 5 = 0.69897$$

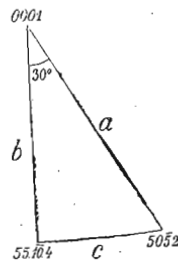
$$\log \operatorname{cotg} 60^\circ = 9.76144$$

$$\log \operatorname{cotg} C = 0.46041$$

$$C = 19^\circ 6' 24''.$$



Sl. 397.



Sl. 398.

Sada treba izračunati veličinu luka (0001) : (5052) i to iz sfernoga pravokutnoga trokuta (0001), (5052), (5.5.10.4) (sl. 398.), gdje ćemo se poslužiti plohom deuteropiramide (5.5.10.4), da na poznati način iz znaka te plohe izračunamo kut (0001) : (5.5.10.4):

$$\frac{1}{5} : \frac{1}{5} : \frac{1}{10} : \frac{1}{4} \Big| \cdot 20$$

$$4 : 4 : 2 : 5.$$

Weissov znak za deuteropirמידu (5.5.10.4) jest  $(4a : 4a : -2a : 5c)$  ili (razdijeljeno sa 2)  $(2a : 2a : -a : \frac{5}{2}c)$ . Ta deuteropiramida siječe glavnu os  $c$  u  $\frac{5}{2}$  puta većoj udaljenosti od osnovne deuteropiramide  $(2a : 2a : -a : c)$ ; moramo dakle osni odnos pomnožiti sa  $\frac{5}{2}$ :

$$\frac{0.49885 \times 2.5}{1.247125}$$

$$\operatorname{tg} (0001) : (5.5.10.4) = 1.247125$$

$$\log \operatorname{tg} (0001) : (5.5.10.4) = 0.09592$$

$$b (0001) : (5.5.10.4) = 51^\circ 16' 34''.$$

Sad ćemo izračunati luk  $a = (0001) : (5052)$  iz trokuta (0001), (5.5.10.4), (5052) (sl. 398.) po formuli:

$$\operatorname{tg} a = \frac{\operatorname{tg} b}{\cos 30^\circ}$$

$$\log \operatorname{tg} b (51^\circ 16' 34'') = 0.09592$$

$$\log \cos 30^\circ = 9.93753$$

$$\log \operatorname{tg} a = 0.15839$$

$$a (0001) : (5052) = 55^\circ 13' 26''.$$

Prijeći ćemo u trokut (0001), (5052), (2131) (sl. 397.), gdje znamo kut kod  $C$  (0001)  $= 19^\circ 6' 24''$  i luk (0001) : (5052), pa ćemo naći stranicu (5052) : (2131):

$$\operatorname{tg} c = \sin b \cdot \operatorname{tg} C$$

$$\log \sin 55^\circ 13' 26'' = 9.91455$$

$$\log \operatorname{tg} 19^\circ 6' 24'' = 9.53939$$

$$\log \operatorname{tg} c = 9.45414$$

$$c (5052) : (2131) = 15^\circ 52' 58''$$

$$2c (3121) : (2131) = 31^\circ 45' 56''.$$

Moramo naći još stranicu (2131) : (2131) ili njezinu polovicu (2131) : (3362) i to iz trokuta (0001), (3362), (2131) (sl. 399.), gdje je poznat kut kod (0001)  $= C' = 10^\circ 53' 36''$  kao dopunjak kuta  $C = 19^\circ 6' 24''$  do  $30^\circ$ ; u trokutu (sl. 397.) možemo još izračunati stranicu (0001) : (2131), pa ćemo onda naći stranicu  $c$  (2131) : (3362).

Stranicu (0001) : (2131) naći ćemo iz trokuta (0001), (5052), (2131) (sl. 397.), u kom je poznat kut kod  $C$  (0001)  $= 19^\circ 6' 24''$  i stranica (0001) : (5052)  $= 55^\circ 13' 26''$ .

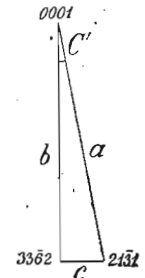
$$\operatorname{tg} a = \frac{\operatorname{tg} b}{\cos C}$$

$$\log \operatorname{tg} 55^\circ 13' 26'' = 0.15839$$

$$\log \cos 19^\circ 6' 24'' = 9.97539$$

$$\log \operatorname{tg} a = 0.18300$$

$$a (0001) : (2131) = 56^\circ 43' 44''.$$



Sl. 399.

U trokutu (0001), (33̄62), (21̄31) (sl. 399.) poznamo sada kut kod (0001) = C' = 10° 53' 36" i stranicu a (0001) : (21̄31) = 56° 43' 44", a tražimo stranicu c (33̄62) : (21̄31) po formuli:

$$\begin{aligned} \sin c &= \sin a \cdot \sin C' \\ \log \sin 56^\circ 43' 44'' &= 9.92225 \\ \log \sin 10^\circ 53' 36'' &= 9.27642 \\ \hline \log \sin c &= 9.19867 \\ c(21\bar{3}1) : (3\bar{3}\bar{6}2) &= 9^\circ 5' 28'' \\ 2c(21\bar{3}1) : (12\bar{3}1) &= 18^\circ 10' 56''. \end{aligned}$$

Trokut (0001), (33̄62), (21̄31) možemo riješiti i tako, da uz poznati kut C' = 10° 53' 36" izračunamo stranicu b (0001) : (33̄62) iz znaka (33̄62):

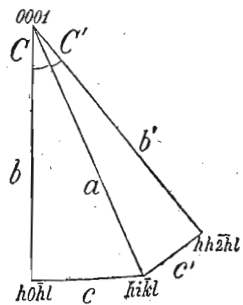
$$\frac{1}{3} : \frac{1}{3} : \frac{1}{6} : \frac{1}{2} = 2 : 2 : 1 : 3;$$

Weissov je znak za deuteropirמידu {33̄62} = (2a : 2a : -a : 3c). Osni odnos (berila) pomnožit ćemo sa 3; dakle 0.49885 × 3 = 1.49655:

$$\begin{aligned} \text{tg}(0001) : (3\bar{3}\bar{6}2) &= 1.49655 \\ \log \text{tg}(0001) : (3\bar{3}\bar{6}2) &= 0.17509 \\ (0001) : (3\bar{3}\bar{6}2) &= 56^\circ 14' 55''. \\ \text{tg } c &= \sin b \cdot \text{tg } C' \\ \log \sin b 56^\circ 14' 55'' &= 9.91984 \\ \log \text{tg } C' 10^\circ 53' 36'' &= 9.28432 \\ \hline \log \text{tg } c &= 9.20416 \\ c(21\bar{3}1) : (3\bar{3}\bar{6}2) &= 9^\circ 5' 28'' \\ 2c(21\bar{3}1) : (12\bar{3}1) &= 18^\circ 10' 56''. \end{aligned}$$

Treba li izračunati osnovni brid diheksagonske piramide (hīkl) : (hīk0) iz znaka (hīkl), na pr. iz znaka (21̄31), izračunat ćemo kut (0001) : (21̄31), odbit ćemo ga od 90° i tako ćemo dobiti kut (21̄31) : (21̄30). Kod berila smo našli, da je (0001) : (21̄31) = 56° 43' 44"; prema tome je (21̄31) : (21̄30) = 90° - 56° 43' 44" = 33° 16' 16".

2.) Neka se nadju znakovi, ako su zadani ovršni bridovi. Zadato je (31̄21) : (21̄31) i (21̄31) : (12̄31) ili polovice (50̄52) : (21̄31) i (33̄62) : (21̄31) ili općenito (k̄ihl) : (hīkl) i (ih̄kl) ili polovice (h0̄hl) : (hīkl) i (h.h.2h.l) : (hīkl). Dakle (sl. 400.):



Sl. 400.

$$\frac{\sin C'}{\sin C} = \frac{\sin c'}{\sin c};$$

$$C + C' = 30^\circ; \quad C' = 30^\circ - C.$$

$$\frac{1}{2} \cotg C - \frac{1}{2} \sqrt{3} = \frac{\sin c'}{\sin c}$$

$$\cotg C = \frac{2 \sin c'}{\sin c} + \sqrt{3}.$$

C daje znak za diheksagonsku prizmu po formuli:

$$\frac{k}{i} = \frac{\cotg C}{2 \cotg 60^\circ} + \frac{1}{2}.$$

Da odredimo u znaku (hīkl) vrijednost za i, izračunat ćemo  $\frac{k}{i}$  iz deuteropiramide, koja otupljuje ovršni brid diheksagonske piramide. Označimo tu pirמידu sa d. Iz kuta (0001) : d može se izračunati znak deuteropiramide d; (0001) : d izračuna se iz sternoga

pravokutnoga trokuta (0001), d, (21̄31), (sl. 401.), u kom je poznata stranica c' i kut kod C' (0001), a tg(0001) : d daje  $\frac{k}{i}$  za diheksagonsku pirמידu.

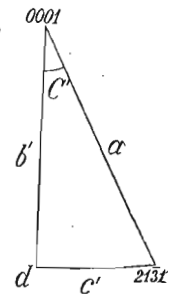
Primjer : Zadato je kod berila (a : c = 1 : 0.49885...) 2c = (31̄21) : (21̄31) = 31° 45' 56" ili u polovici c = (50̄52) : (21̄31) = 15° 52' 58" i 2c' = (21̄31) : (12̄31) = 18° 10' 56" ili u polovici c' = (33̄62) : (21̄31) = 9° 5' 28";

traži se (hīkl):

$$\begin{aligned} \cotg C &= \frac{2 \sin c'}{\sin c} + \sqrt{3}. \\ \log 2 &= 0.30103 \\ + \log \sin 9^\circ 5' 28'' &= 9.19867 \\ \hline &9.49970 \\ - \log \sin 15^\circ 52' 58'' &= 9.43722 \\ \hline &0.06248 \\ \text{numerus} &= 1.15471 \\ + \sqrt{3} &= 1.73205 \\ \hline \cotg C &= 2.88676 \\ \log \cotg C &= 0.46041 \\ C &= 19^\circ 6' 24''. \\ C \text{ daje znak (hi}\bar{k}0) \text{ po formuli } \frac{k}{i} &= \frac{\cotg C}{2 \cotg 60^\circ} + \frac{1}{2}. \\ \log \cotg C 19^\circ 6' 24'' &= 0.46041 \\ \log 2 &= 0.30103 \\ \log \cotg 60^\circ &= 9.76144 \\ \hline &0.06247 \\ &0.46041 \\ - &0.06247 \\ \hline &0.39794 \text{ daje numerus } 2.500 \\ &2.500 \\ + &0.5 \\ \hline &3 \\ \frac{k}{i} &= 3 = \frac{3}{1}. \end{aligned}$$

Simbol je diheksagonske prizme dakle {21̄30}. Treba sada naći  $\frac{k}{i}$  iz deuteropiramide. U sternom pravokutnom trokutu (0001), d, (2131) (sl. 401.) poznamo c' i C':

$$\begin{aligned} \sin b' &= \text{tg } c' \cdot \cotg C' \\ \log \text{tg } 9^\circ 5' 28'' &= 9.20416 \\ \log \cotg 10^\circ 53' 36'' &= 0.71568 \\ \hline \log \sin b' &= 9.91984 \\ b' &= 56^\circ 14' 53'' \\ \log \text{tg } b' &= 0.17508; \\ \text{numerus od } 0.17508 \text{ jest } 1.4965 &= c' \\ c' : c &= 1.4965 : 0.49885 = 3 \\ \frac{k}{i} &= 3 = \frac{3}{1}. \end{aligned}$$



Sl. 401.

Prema tome je znak diheksagonske piramide  $\{2\bar{1}\bar{3}1\}$ .

3.) Neka se nadje znak, ako je zadat ovršni kut diheksagonske piramide  $(50\bar{5}2): (2\bar{1}\bar{3}1)$  i osnovni kut  $(2\bar{1}\bar{3}1): (2\bar{1}\bar{3}0)$ . Rješenje će to dati sferni pravokutni trokut  $(0001)$ ,  $(50\bar{5}2)$ ,  $(2\bar{1}\bar{3}1)$  (sl. 397.), u kom poznamo zadatu stranicu  $c$   $(50\bar{5}2): (2\bar{1}\bar{3}1)$  i stranicu  $a$   $(0001): (2\bar{1}\bar{3}1)$  kao dopunjak zadatoga osnovnoga kuta  $(2\bar{1}\bar{3}1): (2\bar{1}\bar{3}0)$  do  $90^\circ$ . Treba izračunati kut kod  $C$   $(0001)$ , koji će dati znak za diheksagonsku prizmu  $\{hi\bar{k}0\}$ , te luk  $b$   $(0001): (50\bar{5}2)$ , koji će dati znak za protopiramidu  $\{h0\bar{h}l\}$ , a iz njih se dobije znak diheksagonske piramide  $\{hi\bar{k}l\}$ . Ta je naime ploha tada potpuno određena, jer leži na presjecištu zona  $[50\bar{5}2, \bar{1}2\bar{1}0]$  i  $[0001, 2\bar{1}\bar{3}0]$ .

Primjer: Zadato je kod berila, kome je osni odnos  $a:c = 1:0.49885\dots$ ,  $(0001): (2\bar{1}\bar{3}1) = 56^\circ 43' 44'' = a$  i  $(50\bar{5}2): (2\bar{1}\bar{3}1) = 15^\circ 52' 58'' = c$ .

$$\begin{aligned} \cos b &= \frac{\cos a}{\cos c} \\ \log \cos 56^\circ 43' 44'' &= 9.73926 \\ \log \cos 15^\circ 52' 58'' &= 9.98309 \\ \hline \log \cos b \text{ (0001): (50\bar{5}2)} &= 9.75617 \\ b &= 55^\circ 13' 23'' \end{aligned}$$

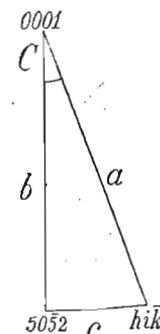
Da nadjemo znak protopiramide  $\{h0\bar{h}l\}$ , treba izračunati znak one deuteropiramide  $\{h.h.\bar{2}h.l\}$ , koja otupljuje ovršni brid protopiramide  $(h0\bar{h}l)$  i to iz sfernoga pravokutnoga trokuta  $(0001)$ ,  $(h.h.\bar{2}h.l)$ ,  $(h0\bar{h}l)$  (sl. 394.), u kom je poznat luk  $(0001): (h0\bar{h}l) = 55^\circ 13' 23''$  i kut kod  $C$   $(0001) = 30^\circ$ ; mora se izračunati luk  $(0001): (h.h.\bar{2}h.l) = b$ . Tangenta toga luka  $= c'$  razdijeljena sa osnim odnosom  $c$  osnovne forme, daje na poznati način znak za deuteropiramidu:

$$\begin{aligned} \text{tg } b &= \text{tg } a \cdot \cos C \\ \log \text{tg } a \text{ } 55^\circ 13' 23'' &= 0.15837 \\ \log \cos C \text{ } 30^\circ &= 9.93753 \\ \hline \log \text{tg } b &= 0.09590 \text{ daje numerus } 1.247 \\ c' &= \text{tg } b = 1.247 \\ c':c &= 1.247:0.49885 = 2.499 = 2.5 = \frac{5}{2} \end{aligned}$$

Deuteropiramida siječe dakle glavnu os  $c$  u  $\frac{5}{2}$  puta većoj udaljenosti od osnovne deuteropiramide; to vrijedi i za protopiramidu, kojoj otupljuje ova deuteropiramida ovršne bridove. Prema tome je znak protopiramide  $(a:\alpha a:-a:\frac{5}{2}c) = \{50\bar{5}2\}$ . Ta protopiramida  $\{50\bar{5}2\}$  otupljuje ovršni brid diheksagonske piramide  $(hi\bar{k}l): (k\bar{h}l)$ . Treba sada izračunati kut  $C$   $(0001)$ , koji daje znak za diheksagonsku prizmu  $\{hi\bar{k}0\}$ . To će rješenje dati sferni pravokutni trokut  $(0001)$ ,  $(50\bar{5}2)$ ,  $(hi\bar{k}l)$  (sl. 402):

$$\begin{aligned} \text{tg } C &= \frac{\text{tg } c}{\sin b} \\ \log \text{tg } 15^\circ 52' 58'' &= 9.45413 \\ \log \sin 55^\circ 13' 23'' &= 9.91454 \\ \hline \log \text{tg } C &= 9.53959 \\ C &= 19^\circ 6' 24'' \\ \frac{k}{i} &= \frac{\text{cotg } C}{2 \text{cotg } 60^\circ} + \frac{1}{2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \log \text{cotg } 19^\circ 6' 24'' &= 0.46041 \\ \log 2 &= 0.30103 \\ \log \text{cotg } 60^\circ &= 9.76144 \\ \hline &= 0.06247 \\ 0.46041 \\ - 0.06247 \\ \hline 0.39794 &\text{ daje numerus } 2.500 \\ &2.500 \\ + 0.5 \\ \hline &3.0 \\ \frac{k}{i} &= 3. \end{aligned}$$



Sl. 402.

Znak je dakle diheksagonske prizme  $\{2\bar{1}\bar{3}0\}$ . Prema tome diheksagonska piramida, kojoj tražimo znak, leži na presjecištu ovih dviju zona:  $[50\bar{5}2, \bar{1}2\bar{1}0]$  i  $[0001, 2\bar{1}\bar{3}0]$ , pa ćemo joj naći znak iz zonalnih znakova tih dviju zona:

$$\begin{array}{l} [50\bar{5}2, \bar{1}2\bar{1}0] = ? \\ \begin{array}{c} 5\bar{0} \ 2 \ 5 \ 0 \ 2 \\ \times \times \times \times \\ \hline \bar{1} \ 2 \ 0 \ \bar{1} \ 2 \ 0 \\ 0 - 4 = \bar{4} \\ \bar{2} - 0 = \bar{2} \\ 10 - 0 = 10 \end{array} \\ [0001, 2\bar{1}\bar{3}0] = ? \\ \begin{array}{c} 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \\ \times \times \times \times \\ \hline 2 \ 1 \ 0 \ 2 \ 1 \ 0 \\ 0 - 1 = \bar{1} \\ 2 - 0 = 2 \\ 0 - 0 = 0 \end{array} \end{array}$$

$$[50\bar{5}2, \bar{1}2\bar{1}0] = [\bar{4} \cdot \bar{2} \cdot 6 \cdot 10] \text{ ili } [2\bar{1}\bar{3}5]; \quad [0001, 2\bar{1}\bar{3}0] = [\bar{1}2\bar{1}0].$$

Ploha, kojoj tražimo znak, leži dakle na presjecištu dviju zona, kojima je znak  $[2\bar{1}\bar{3}5]$  i  $[\bar{1}2\bar{1}0]$ ; zonalni znakovi dat će znak tražene plohe:

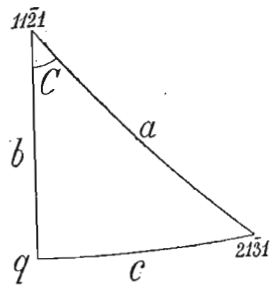
$$\begin{array}{c} 2\bar{1} \ 5 \ \bar{2} \ \bar{1} \ 5 \\ \times \times \times \times \\ \hline \bar{1} \ 2 \ 0 \ \bar{1} \ 2 \ 0 \\ 0 - 10 = \bar{10} \\ \bar{5} - 0 = \bar{5} \\ \bar{4} - 1 = \bar{5} \end{array}$$

Znak je dakle diheksagonske piramide  $\{\bar{1}0 \cdot \bar{5} \cdot 15 \cdot \bar{5}\}$  ili  $\{2 \ 1 \ \bar{3} \ 1\}$ .

4.) Najviše je slučajeva, da za računanje znaka  $(hi\bar{k}l)$  treba obaviti mjerenje samo jednoga kuta; dakako tada mora ploha diheksagonske piramide ležati (a to je najčešće) u poznatoj zoni.

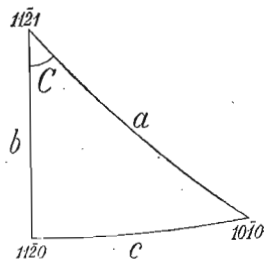
Primjer: Mjeren je kod berila kut  $(1\bar{1}\bar{2}1): (2\bar{1}\bar{3}1)$ ; taj je kut stranica u sfernom pravokutnom trokutu  $(1\bar{1}\bar{2}1)$ ,  $(2\bar{1}\bar{3}1)$ ,  $q$  (sl. 403.);  $q$  = deuteropiramida. U tom je trokutu određen još i kut kod  $(1\bar{1}\bar{2}1)$ ; budući da je on ujedno i kut trokuta  $(1\bar{1}\bar{2}1)$ ,  $(10\bar{1}0)$ ,  $(1\bar{1}\bar{2}0)$  (sl. 404.), može se izračunati iz osnoga odnosa:

$$\begin{aligned} C &= ? \\ c &= 30^\circ \text{ (slijedi iz simetrije!)} \\ b &= (0001): (1\bar{1}\bar{2}0) - (0001): (1\bar{1}\bar{2}1) = 90^\circ - (0001): (1\bar{1}\bar{2}1); \text{ stranicu } (0001): \\ &: (1\bar{1}\bar{2}1) \text{ naći ćemo iz znaka } (1\bar{1}\bar{2}1) = (2a:2a:-a:2c). \\ & \quad c = 0.49885 \times 2 \\ & \quad 0.99770 \text{ jest numerus, kome odgovara logaritam } 9.99900. \\ \log \text{tg } (0001): (1\bar{1}\bar{2}1) &= 9.99900 \\ (0001): (1\bar{1}\bar{2}1) &= 44^\circ 56' 2'' \end{aligned}$$



Sl. 403.

$$\begin{array}{r} 89^\circ 59' 60'' \\ 44^\circ 56' 2'' \\ \hline 45^\circ 3' 58'' \\ (11\bar{2}1) : (11\bar{2}0) = 45^\circ 3' 58''. \\ \text{tg } C = \frac{\text{tg } c}{\sin b} \\ \log \text{tg } 30^\circ = 9.76144 \\ \log \sin 45^\circ 3' 58'' = 9.84999 \\ \hline \log \text{tg } C = 9.91145 \\ C = 39^\circ 11' 55'' \end{array}$$



Sl. 404.

Zadat je kut  $(11\bar{2}1) : (21\bar{3}1) = 14^\circ 28' = \alpha$ ; izračunat je kut kod  $(11\bar{2}1) = C = 39^\circ 11' 55''$ ; traži se luk  $(11\bar{2}1) : q$  (sl. 403.).

$$\begin{array}{r} \text{tg } b = \text{tg } a \cdot \cos C \\ \log \text{tg } 14^\circ 28' = 9.41161 \\ \log \cos 39^\circ 11' 55'' = 9.88928 \\ \hline \log \text{tg } b = 9.30089 \\ b = 11^\circ 18' 22''. \end{array}$$

Pribrojimo li b luku  $(0001) : (11\bar{2}1)$ , dobit ćemo luk  $(0001) : q$ ; tangenta toga luka daje znak za deuteropiramidu q:

$$\begin{array}{r} 11^\circ 18' 22'' \\ 44^\circ 56' 2'' \\ \hline (0001) : q = 56^\circ 14' 24'' \\ \log \text{tg } 56^\circ 14' 24'' = 0.17494; \text{ od toga je numerus } 1.496 = c'. \\ c' : c = 1.496 : 0.49885 = 2.999 = 3. \end{array}$$

Deuteropiramida q siječe os c u tri puta većoj udaljenosti od osnovne deuteropiramide, pa joj je prema tome znak po Weissu  $(2a : 2a : -a : 3c)$ , po Bravaisu  $\{3\bar{3}\bar{2}\}$ . To je znak deuteropiramide, koja otupljuje jednu vrstu ovršnih bridova diheksagonske piramide, za koju prema tome znamo, da leži u zonama  $[\bar{1}100, 3\bar{3}\bar{2}]$  i  $[11\bar{2}1, 10\bar{1}0]$  pa joj je lako naći znak iz znakova pomenutih dviju zona:

$$\begin{array}{r} [\bar{1}100, 3\bar{3}\bar{2}] = ? \\ \begin{array}{cccc} \bar{1} & 1 & 0 & \bar{1} & 1 & 0 \\ & \times & \times & \times & \times & \\ 3 & \bar{3} & 2 & \bar{3} & 3 & \bar{2} \end{array} \\ \hline 2 - 0 = 2 \\ 0 - \bar{2} = 2 \\ \bar{3} - 3 = \bar{6} \\ [\bar{1}100, 3\bar{3}\bar{2}] = [2\bar{2}\bar{4}] = [11\bar{2}\bar{3}]; \end{array}$$

$$\begin{array}{r} [11\bar{2}1, 10\bar{1}0] = ? \\ \begin{array}{cccc} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ & \times & \times & \times & \times & \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{array} \\ \hline 0 - 0 = 0 \\ 1 - 0 = 1 \\ 0 - 1 = \bar{1} \\ [11\bar{2}1, 10\bar{1}0] = [01\bar{1}\bar{1}]. \end{array}$$

Diheksagonska piramida, kojoj tražimo znak, leži na presjecištu dviju zona, kojima je zonalni znak  $[11\bar{2}\bar{3}]$  i  $[01\bar{1}\bar{1}]$ ; dakle joj je znak:

$$\begin{array}{r} 1 & 1 & \bar{3} & 1 & 1 & 3 \\ & \times & \times & \times & \times & \\ 0 & 1 & \bar{1} & 0 & 1 & \bar{1} \\ \hline \bar{1} - \bar{3} = 2 \\ 0 - \bar{1} = 1 \\ 1 - 0 = 1. \end{array}$$

Znak je diheksagonske piramide  $\{21\bar{3}1\}$ .

Možemo naći znak za tu diheksagonsku piramidu i na taj način, da odgovorimo na pitanje, kojemu uvjetu mora ploha  $(hi\bar{k}l)$  zadovoljavati, ako leži u zoni  $[11\bar{2}1, 10\bar{1}0]$ ? Po zonalnom pravilu (29) moraju indeksi plohe umnoženi i zbrojeni sa indeksima zonalnoga znaka dati nul:

$$\begin{array}{r} [11\bar{2}1, 10\bar{1}0] = ? \\ \begin{array}{cccc} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ & \times & \times & \times & \times & \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{array} \\ \hline 0 - 0 = 0 \\ 1 - 0 = 1 \\ 0 - 1 = \bar{1} \\ [11\bar{2}1, 10\bar{1}0] = [01\bar{1}\bar{1}]. \end{array}$$

Indeksi  $(hi\bar{k}l)$  moraju umnoženi i zbrojeni sa indeksima  $[01\bar{1}\bar{1}]$  dati nul:

$$\begin{array}{r} hi\bar{k}l \\ 01\bar{1}\bar{1} \\ \hline h \cdot 0 + i \cdot 1 + l \cdot \bar{1} = 0 \\ i - l = 0 \\ i = l. \end{array}$$

Ako ploha  $(hi\bar{k}l)$  leži u zoni  $[11\bar{2}1, 10\bar{1}0]$ , mora biti  $i = l$ . Između znakova deuteropiramide  $\{3\bar{3}\bar{2}\}$  i diheksagonske piramide  $(hi\bar{k}l)$  postoji ovaj odnos:

$$\begin{array}{r} h + i = 3 \\ \bar{k} + \bar{k} = \bar{6} \\ l + l = 2. \end{array}$$

Iz odnosa  $\bar{k} + \bar{k} = \bar{6}$  slijedi, da je  $\bar{k} = \bar{3}$ , a iz odnosa  $l + l = 2$  slijedi, da je  $l = 1$ . Kako diheksagonska piramida leži u zoni  $[11\bar{2}1, 10\bar{1}0]$ , mora zadovoljavati uvjetu  $i = l$ ; prema tome je  $i = 1$ . Budući da je  $h + i = 3$ , slijedi da je  $h = 2$ . Dakle je  $(hi\bar{k}l) = (21\bar{3}1)$ .

h) Računanje znakova i kutova (uglova) kod romboedra i skalenoedra.

**Romboedar.** Traži se znak iz poznatoga ovršnoga brida, ovršni brid iz poznatoga znaka i osni odnos.

1. Traži se osni odnos  $a : c$ . Tangenta luka  $(0001) : (11\bar{2}2)$  daje osni odnos  $c$ ; taj se luk izračuna iz pravokutnog sfernog trokuta  $(0001), (10\bar{1}1), (11\bar{2}2)$  po formuli:

$$\text{tg } (0001) : (11\bar{2}2) = \text{tg } (0001) : (10\bar{1}1) \cdot \cos 30^\circ \text{ ili} \\ \text{tg } b = \text{tg } a \cdot \cos 30^\circ.$$

Primjer: Zadati je kod korunda kut  $(0001) : (10\bar{1}1) = 57^\circ 34' 8''$ ;  $C = 30^\circ$ .

$$\begin{array}{r} \log \text{tg } 57^\circ 34' 8'' = 0.19697 \\ \log \cos 30^\circ = 9.93753 \\ \hline \log \text{tg } b = 0.13450 \\ \text{numerus} = 1.3630 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \log \text{tg } b = 0.13450 \\ \text{numerus} = 1.3630 \\ c = 1.3630 \dots \end{array}$$

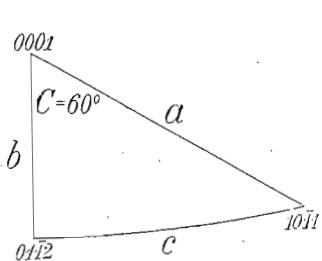
2. Da nadujemo ovršni brid romboedra, riješit ćemo sferni pravokutni trokut  $(0001), (10\bar{1}1), (01\bar{1}2)$  (sl. 405.).

Primjer: Zadati je kod korunda kut  $(0001) : (10\bar{1}1) = 57^\circ 34' 8''$ . U spomenutom trokutu poznamo još i kut kod C  $(0001) = 60^\circ$ ;

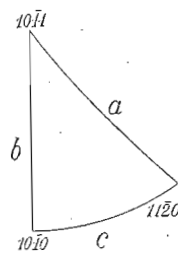
$$\begin{aligned} \sin c &= \sin a \cdot \sin C \\ \sin (01\bar{1}2) : (10\bar{1}1) &= \sin 57^\circ 34' 8'' \cdot \sin 60^\circ \\ \log \sin 57^\circ 34' 8'' &= 9.92636 \\ \log \sin 60^\circ &= 9.93753 \\ \hline \log \sin (01\bar{1}2) : (10\bar{1}1) &= 9.86389 \\ (01\bar{1}2) : (10\bar{1}1) &= 46^\circ 58' \\ (10\bar{1}1) : (\bar{1}101) &= 93^\circ 56'. \end{aligned}$$

3. Da nadujemo osnovni brid romboedra, treba naći veličinu kuta  $(10\bar{1}1) : (01\bar{1}1)$  ili njegovu polovicu  $(10\bar{1}1) : (11\bar{2}0)$ .

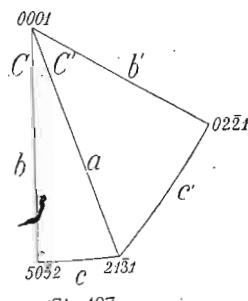
Primjer: Zadati su kod korunda kut  $(0001) : (10\bar{1}1) = 57^\circ 34' 8''$ . Riješiti ćemo pravokutni sferni trokut  $(10\bar{1}1)$ ,  $(10\bar{1}0)$ ,  $(11\bar{2}0)$  (sl. 406.), u kom poznamo stranicu  $b(10\bar{1}1) : (10\bar{1}0) = 90^\circ - (0001) : (10\bar{1}1)$  i stranicu  $c(10\bar{1}0) : (11\bar{2}0) = 30^\circ$ ; možemo dakle naći stranicu  $a(10\bar{1}1) : (11\bar{2}0)$ .



Sl. 405.



Sl. 406.



Sl. 407.

$$\begin{aligned} \cos a &= \cos b \cdot \cos c \\ &= \cos 89^\circ 59' 60'' \cdot \cos 30^\circ \\ &= \cos 57^\circ 34' 8'' \\ b &= 32^\circ 25' 52'' \\ \cos a &= \cos 32^\circ 25' 52'' \cdot \cos 30^\circ \\ \log \cos 32^\circ 25' 52'' &= 9.92636 \\ \log \cos 30^\circ &= 9.93753 \\ \hline \log \cos (10\bar{1}1) : (11\bar{2}0) &= 9.86389 \\ (10\bar{1}1) : (11\bar{2}0) &= 43^\circ 2'. \end{aligned}$$

Možemo taj zadatak riješiti i ovako:

Kako je  $(10\bar{1}1) : (11\bar{2}0) + (10\bar{1}1) : (1\bar{1}02) = 90^\circ$ , to ćemo iz sfernoga pravokutnoga trokuta  $(0001)$ ,  $(10\bar{1}1)$ ,  $(01\bar{1}2)$  izračunati stranicu  $(10\bar{1}1) : (01\bar{1}2) = (10\bar{1}1) : (1\bar{1}02)$ ; odbijemo li to od  $90^\circ$ , dobit ćemo stranicu  $(10\bar{1}1) : (11\bar{2}0)$ ; dakle  $(10\bar{1}1) : (11\bar{2}0) = 90^\circ - (10\bar{1}1) : (01\bar{1}2)$ . Za korund ćemo dobiti  $(10\bar{1}1) : (01\bar{1}2) = 46^\circ 58'$

$$\begin{aligned} &89^\circ 60' \\ &46^\circ 58' \\ \hline (10\bar{1}1) : (11\bar{2}0) &= 43^\circ 2'. \end{aligned}$$

Jednakim se trokutima služimo, kad iz zadata kuta treba izračunati znak.

**Skalenoedar.**

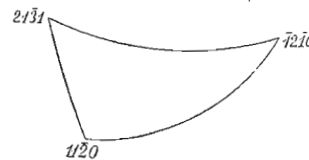
1. Ako su na nekom skalenoedru mjereni ovršni kutovi, to su onda poznate i njihove polovice, t. j. kutovi medju jednom plohom skalenoedra i plohami onih dvaju

romboedara, koji otupljuju jedan i drugi ovršni brid skalenoedra; na pr. luk  $c = (21\bar{3}1) : (50\bar{5}2)$  i luk  $c' = (21\bar{3}1) : (02\bar{2}1)$ . Iz oba pravokutna sferna trokuta  $(0001)$ ,  $(50\bar{5}2)$ ,  $(21\bar{3}1)$  i  $(0001)$ ,  $(21\bar{3}1)$ ,  $(02\bar{2}1)$  (sl. 407.) dadu se izračunati oba kuta C i C' kod  $(0001)$  po formuli:

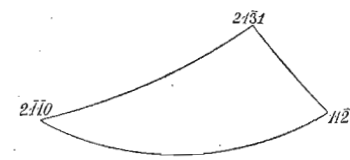
$$\cotg C = \cotg (10\bar{1}0) : (21\bar{3}0) = \frac{\sin c'}{\sin c \cdot \sin 60^\circ} + \frac{1}{2 \sin 60^\circ}$$

Kad znamo C, izračunat ćemo C', jer je  $C + C' = 60^\circ$ . Iz toga možemo sada izračunati udaljenosti polova  $(50\bar{5}2)$  i  $(02\bar{2}1)$  od  $(0001)$ , pa ćemo dobiti sve podatke za znak traženoga skalenoedra. C naime daje znak za  $(21\bar{3}0)$ , a luk  $(0001) : (50\bar{5}2)$  znak za  $(50\bar{5}2)$ ; iz ta dva znaka dobijemo znak za skalenoedar (analogno diheksagonskoj piramidi).

2. Ako je na nekom skalenoedru mjereno jedan od ovršnih i jedan osnovni brid, na pr.  $(21\bar{3}1) : (11\bar{2}0)$  i  $(21\bar{3}1) : (50\bar{5}2)$ , tada je u sfernom kosokutnom trokutu  $(21\bar{3}1)$ ,  $(\bar{1}2\bar{1}0)$ ,  $(11\bar{2}0)$  (sl. 408.) poznata stranica  $(11\bar{2}0) : (\bar{1}2\bar{1}0) = 60^\circ$ , zatim zadata stranica  $(11\bar{2}0) : (21\bar{3}1)$  i stranica  $(21\bar{3}1) : (\bar{1}2\bar{1}0) = 90^\circ - (50\bar{5}2) : (21\bar{3}1)$ . Sad se izračuna kut pri  $(\bar{1}2\bar{1}0)$ , koji je jednak luku  $(50\bar{5}2) : (10\bar{1}0)$ , a iz toga se luka pomoću  $(21\bar{3}1) : (50\bar{5}2)$  izračuna znak za skalenoedar, jer se dadu odrediti znaci za pripadnu diheksagonsku prizmu i pripadni romboedar.



Sl. 408.



Sl. 409.

Ako je mjereno kut  $(21\bar{3}1) : (02\bar{2}1)$  i  $(21\bar{3}1) : (11\bar{2}0)$ , riješiti ćemo sferni kosokutni trokut  $(21\bar{3}1)$ ,  $(11\bar{2}0)$ ,  $(2\bar{1}\bar{1}0)$  (sl. 409.), u kom poznamo sve tri stranice:  $(11\bar{2}0) : (2\bar{1}\bar{1}0) = 60^\circ$ , zadatu stranicu  $(21\bar{3}1) : (11\bar{2}0)$  i stranicu  $(21\bar{3}1) : (2\bar{1}\bar{1}0) = 90^\circ - (21\bar{3}1) : (02\bar{2}1)$ , pa možemo izračunati kut kod  $(2\bar{1}\bar{1}0)$ ; taj je kut jednak luku  $(02\bar{2}1) : (01\bar{1}0)$ . Odbijemo li to od  $90^\circ$ , dobit ćemo kut  $(0001) : (02\bar{2}1)$ ; taj kut pomoću kuta  $(21\bar{3}1) : (02\bar{2}1)$  daje mogućnost, da izračunamo znak za skalenoedar (slično predjašnjem rješenju).

3. Zadati su znak skalenoedra, neka se nadju kutovi. U tom slučaju poznati su i znakovi onih romboedara, koji otupljuju ovršne bridove skalenoedra, a poznat je i znak diheksagonske prizme, koja pripada tome skalenoedru. Neka je zadati na pr. znak  $(21\bar{3}1)$ . Znakovi romboedara, koji otupljuju ovršne bridove skalenoedra, jesu  $(50\bar{5}2)$  i  $(02\bar{2}1)$ , a znak diheksagonske prizme, koja pripada tome skalenoedru, jest  $(21\bar{3}0)$ . Izračunat ćemo najprije kutove, što ih čine plohe  $(50\bar{5}2)$  i  $(02\bar{2}1)$  sa osnovnim pinakoidom  $(0001)$  (vidi to rješenje na str. 166). Poznato je dakle:  $(0001) : (50\bar{5}2)$  i  $(0001) : (02\bar{2}1) = (0001) : (20\bar{2}1)$ . Riješiti ćemo sferni pravokutni trokut  $(0001)$ ,  $(50\bar{5}2)$ ,  $(21\bar{3}1)$  (sl. 397.). Kut kod C  $(0001)$  izračunat ćemo iz znaka diheksagonske prizme po formuli:

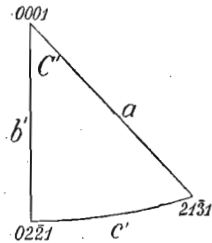
$$\cotg C = \frac{2k - i}{i} \cdot \cotg 60^\circ$$

U tom trokutu poznamo sad stranicu b  $(0001) : (50\bar{5}2)$  i kut kod C  $(0001)$ ; možemo dakle izračunati stranicu c  $(50\bar{5}2) : (21\bar{3}1)$ . Uzmemo li tu vrijednost dvostruko, dobili smo ovršni kut skalenoedra  $(21\bar{3}1) : (3\bar{1}\bar{2}1)$ . Sad ćemo riješiti sferni pravokutni trokut  $(0001)$ ,  $(02\bar{2}1)$ ,  $(21\bar{3}1)$  (sl. 410.), u kom poznamo stranicu  $(0001) : (02\bar{2}1)$  i kut kod  $(0001) = C' = 60^\circ - C$ ; možemo dakle izračunati stranicu c'  $(02\bar{2}1) : (21\bar{3}1)$ . Uzmemo li tu vrijednost dvostruko, dobit ćemo drugi ovršni brid skalenoedra  $(21\bar{3}1) : (2\bar{3}\bar{1}1)$ . Preostaje još da izračunamo treći kut skalenoedra, koji otupljuje prizma II. reda  $(11\bar{2}0)$ , a to je

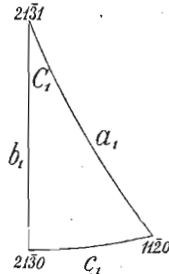
kut  $(21\bar{3}1):(11\bar{2}0)$ . Da taj kut izračunamo, moramo riješiti sferni pravokutni trokut  $(21\bar{3}1)$ ,  $(21\bar{3}0)$ ,  $(11\bar{2}0)$  (sl. 411.), u kom je poznata stranica  $(21\bar{3}1):(21\bar{3}0) = (0001):(21\bar{3}0) - (0001):(21\bar{3}1) = 90^\circ - (0001):(21\bar{3}1)$ ; stranicu  $(0001):(21\bar{3}1)$  možemo naći rješenjem sfernoga pravokutnog trokuta  $(0001)$ ,  $(21\bar{3}1)$ ,  $(50\bar{5}2)$ , sl. 397.; u trokutu sl. 411. poznamo još i stranicu  $(21\bar{3}0):(11\bar{2}0) = (10\bar{1}0):(11\bar{2}0) - (10\bar{1}0):(21\bar{3}0) = 30^\circ - C$ ;  $C$  se izračuna iz znaka za diheksagonsku prizmu po formuli:

$$\cotg C = \frac{2k-i}{i} \cdot \cotg 60^\circ.$$

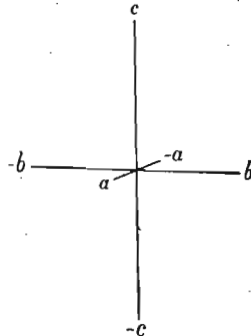
U pomenutom su sfernom pravokutnom trokutu (sl. 411.) prema tome poznata sada dva elementa:  $b_1(21\bar{3}1):(21\bar{3}0)$  i  $c_1(21\bar{3}0):(11\bar{2}0)$ ; možemo dakle naći treći element: stranicu  $a_1(21\bar{3}1):(11\bar{2}0)$ , a to je kut, koji tražimo.



Sl. 410.



Sl. 411.



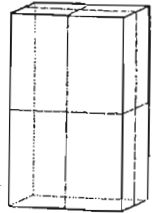
Sl. 412.

**41. Ròmpski sustav** možemo izvesti iz teseralnoga sustava; zamislimo samo, da su u teseralnom sustavu sve tri osi postale različite dužine. Kristali dakle rompskoga sustava imaju tri nejednake osi, koje su jedna na drugoj okomite. Kako su sve tri različite dužine, označujemo ih različitim slovima  $a$ ,  $b$ ,  $c$  (sl. 412.). Koju god od ovih osi možemo uzeti za glavnu os. Ako smo jednu od njih odabrali za glavnu os, postavljamo je vertikalno i označujemo slovom  $c$ ; druge dvije osi leže u horizontalnoj ravnini; jedna od njih, koja je duža, pruža se poprijeko od lijeva na desno i zove se poprečna os, makroos ili makrodijagonala; nju označujemo slovom  $b$ ; druga os, koja je kraća, pruža se prema posmatraču i zove se uzdužna os, brahios ili brahidijagonala; nju označujemo slovom  $a$ .

Kako su u rompskom sustavu sve tri osi nejednake, odabiramo jednu (os  $b$ ) kao jedinicu, a drugim osima (za os  $a$  i za os  $c$ ) tražimo njihov odnos (prema osi  $b$ ). Budući da su osni kutovi (uglovi)  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ , treba obaviti mjerenja dvaju kutova, da saznamo osni odnos  $a:b:c$  ili  $\frac{a}{b} : 1 : \frac{c}{b}$ .

1. **Holoedrija** (25. kristalni razred) rompskoga sustava obuhvata forme sa najvećim stupnjem simetrije, što ga može da ima osni krst toga sustava. Na tim formama naći ćemo 3 ravnine simetrije, koje su jedna na drugoj

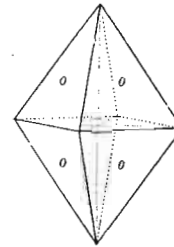
okomite (sl. 413.), a po svojoj su prirodi međusobno različite tako, da ne možemo jednu zamijeniti drugom. Razvile su se i tri digonske osi simetrije  $3L^2$ , koje se podudaraju sa kristalnim osima. Budući da su se forme razvile sa paralelnim istovrsnim plohama, imaju one i centar simetrije  $C$ . Elementi dakle rompske holoedrije jesu:  $3P$ ,  $3L^2$  i  $C$ .



Sl. 413.

Kristalne forme rompskoga sustava razvile su se kao piramide, prizme, dome i pinakoidi. S obzirom na položaj ploha prema kristalnim osima ima dakako i u ovom sustavu 7 vrsta kristalnih forma. To su:

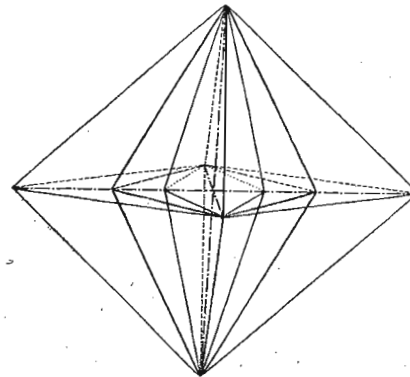
1. **Ròmpske bipiramide**. Ti su se likovi razvili sa 8 asimetrijskih ploha, koje su tako položene prema osima, da svaka od njih siječe sve tri osi u različitoj udaljenosti (sl. 414.).



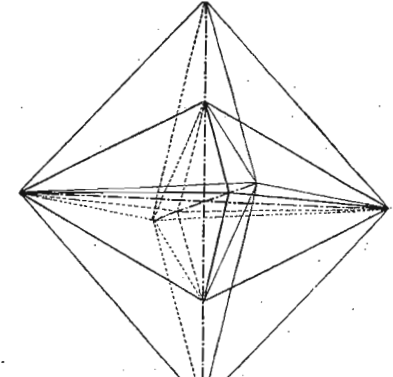
Sl. 414.

U 2 ugla, kroz koja prolazi vertikalna os  $c$ , sijeku se po 4 ovršna brida; u 2+2 ugla, kroz koja izlaze osi  $a$  i  $b$ , sijeku se po 2 ovršna i po 2 osnovna brida.

Kod određivanja rompskih kristala odabiramo jednu piramidu kao osnovnu formu, kojoj je osni odnos  $a:b:c$ . Njezin je znak po Weissu ( $a:b:c$ ), po Naumannu  $P$ , po Milleru  $\{111\}$ . Iz osnovne piramide možemo izvesti neograničen broj različitih rompskih piramida prema tome, da li u osnovnoj piramidi raste ili pada jedna od tri osi. Ako os  $c$  postane m-puta veća ili m-puta manja, negoli u osnovnoj piramidi, razvijat će se šiljatije i tuplje piramide (sl. 415.). Općeni je znak takvih piramida po Weissu ( $a:b:mc$ ), po Naumannu  $mP$ , po Milleru  $\{hhl\}$ , na pr. ( $a:b:3c$ ) =  $3P = \{331\}$ ;



Sl. 415.

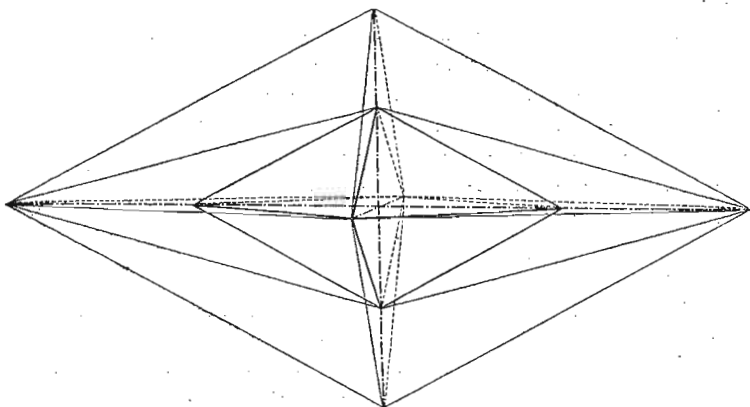


Sl. 416.

( $a:b:\frac{1}{4}c$ ) =  $\frac{1}{4}P = \{114\}$  itd. Kod Millerovih indeksa  $hhl$ , ako je piramida šiljatija, jest



$h > l$ , ako je tuplja, onda je  $h < l$ . Kako se te piramide produžuju ili skraćuju smjerom vertikalne osi  $c$ , zovemo ih piramidama vertikalnoga niza. Ako u piramidi  $mP$  postane os  $b$  (makros)  $n$ -puta veća, razvit će se nove piramide, koje su produžene smjerom osi  $b$ , pa ih zovemo makropiramidama (sl. 417.). Općeni je dakle znak makropiramidama



Sl. 417.

po Weissu ( $a : nb : mc$ ) po Naumannu  $m\bar{P}n$ , (znak — kaže, da se koeficijent  $n$  odnosi na os  $b$ , makroos), po Milleru  $\{hkl\}$ , gdje je  $h > k$ , na pr. ( $a : 3b : 2c$ ) =  $2\bar{P}3 = \{623\}$ . Na isti način postat će iz piramide  $mP$  brahipiramida, t. j. ako brahios, os  $a$ , postane  $n$ -puta veća (sl. 416.). Općeni je znak brahipiramide po Weissu ( $na : b : mc$ ), po Naumannu  $m\bar{P}n$  (znak - kaže, da se koeficijent  $n$  odnosi na os  $a$ , brahios), po Milleru  $\{hkl\}$ , gdje je  $h < k$ , na pr. ( $2a : b : \frac{2}{3}c$ ) =  $\frac{2}{3}\bar{P}2 = \{123\}$ .

2. *Rompske prizme.* Ove forme, koje imaju po četiri monosimetrijske plohe, postaju iz rompskih piramida tako, da os  $c$  postane neizmjerljivo velika (sl. 418. ploha  $m$ ).

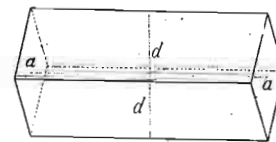
Na taj će dakle način od osnovne piramide  $P$  postati osnovna prizma  $\infty P = (a : b : \infty c) = \{110\}$ . Iz makropiramide  $m\bar{P}n$  postat će makroprizma  $\infty\bar{P}n = (a : nb : \infty c) = \{hk0\}$ , gdje je  $h > k$ , na pr.  $\infty\bar{P}2 = (a : 2b : \infty c) = \{210\}$ . Iz brahipiramide  $m\bar{P}n$  postat će brahiprizma  $\infty\bar{P}n = (na : b : \infty c) = \{hk0\}$ , gdje je  $h < k$ , na pr.  $\infty\bar{P}3 = (3a : b : \infty c) = \{130\}$ . Kako su ove prizme paralelne sa vertikalnom osi  $c$ , zovemo ih vertikalnim prizmama.

*Rompske dome.* Ove su forme zapravo horizontalne prizme, dakle forme sa četiri monosimetrijske plohe, koje su prema osima tako položene, da svaka od njih teče sa jednom osi (sa osi  $a$  ili sa osi  $b$ ) paralelno, a druge dvije osi siječe u različitoj udaljenosti. Te forme možemo izvesti iz koje god rompske piramide na taj način, da os  $a$  ili os  $b$  postane neizmjerljivo velika.

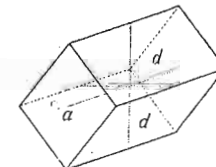
3. *Rompske makrodome.* Ako u osnovnoj piramidi  $P$  bude makroos  $b = \infty$ , razvit će se osnovna makrodoma  $\bar{P}\infty = (a : \infty b : c) = \{101\}$ ; ako u



Sl. 418.



Sl. 419.



Sl. 420.

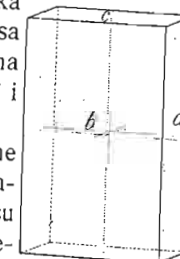
makropiramidi  $m\bar{P}n$  bude  $n = \infty$ , prijeći će ona u makrodomu  $m\bar{P}\infty = (a : \infty b : mc) = \{h0l\}$  (sl. 419. ploha  $d$ ).

4. *Rompske brahidome.* Ako u osnovnoj piramidi  $P$  bude brahios  $a = \infty$ , razvit će se osnovna brahidoma  $\bar{P}\infty = (\infty a : b : c) = \{011\}$ ; ako u brahipiramidi  $m\bar{P}n$  bude  $n = \infty$ , prijeći će ona u brahidomu  $m\bar{P}\infty = (\infty a : b : mc) = \{0kl\}$  (sl. 420. ploha  $d$ ).

*Rompski pinakoidi.* Piramide, prizme i dome mogu lako prijeći u nove forme u slučaju, ako im dva parametra postanu neizmjerljivo velika. Te su nove forme prema tome pinakoidi, likovi sa dvije plohe.

5. *Osnovni ili bazni pinakoid.* Ako u piramidi  $mP$  vertikalna os padne na nul (0), doći će do razvitka osnovnoga pinakoida, lika sa 2 disimetrijske plohe, koje su paralelne sa osi  $a$  i sa osi  $b$ , a os  $c$  sijeku u udaljenosti nul (0) (sl. 421. ploha  $c$ ). Znak je osnovnog pinakoida, kao i u tetragonskom i heksagonskom sustavu,  $0P = (\infty a : \infty b : c) = \{001\}$ .

6. *Makropinakoid* možemo izvesti iz makroprizme  $\infty\bar{P}n$  tako, da bude  $n = \infty$ . Na taj način postat će iz makroprizme nova forma sa 2 disimetrijske plohe, koje su paralelne sa osi  $b$  i sa osi  $c$ , a os  $a$  sijeku u udaljenosti 1 (sl. 421. ploha  $b$ ); dakle je znak toga pinakoida  $\infty\bar{P}\infty = (a : \infty b : \infty c) = \{100\}$ .

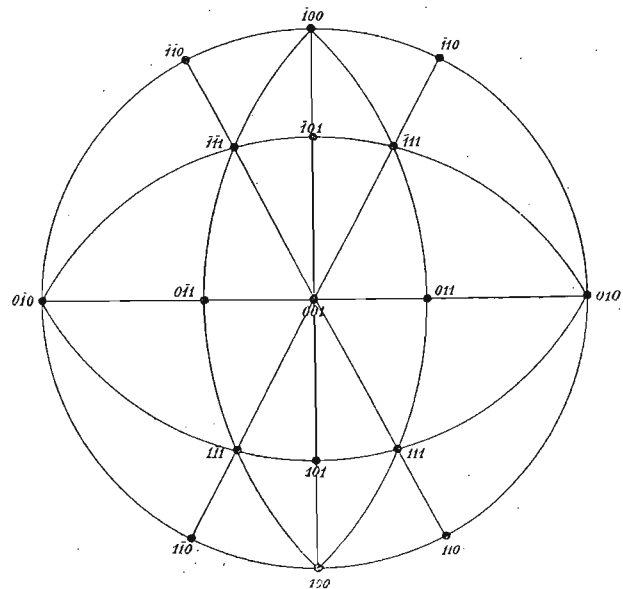


Sl. 421.

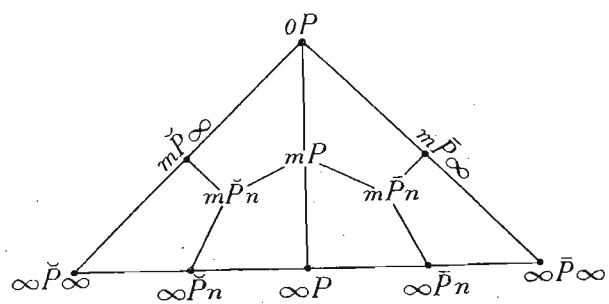
7. *Brahipinakoid* možemo izvesti iz brahiprizme  $\infty\bar{P}n$  tako, da bude  $n = \infty$ ; na taj način razvit će se nova forma sa dvije disimetrijske plohe, koje su paralelne sa osi  $a$  i sa osi  $c$ , a os  $b$  sijeku u udaljenosti 1; dakle je znak toga pinakoida  $\infty\bar{P}\infty = (\infty a : b : \infty c) = \{010\}$  (sl. 421. ploha  $a$ ). Iz znaka ova tri pinakoida razabira se, kako ih možemo izvesti iz drugih forma rompskoga sustava.

Od minerala, koji se kristalizuju u ovom kristalnom razredu, spomenut ćemo na pr. sumpor.

Iz stereografske projekcije (sl. 422. i triangularne slike 423.) vidi se međusoban položaj rompskih forma.



Sl. 422.



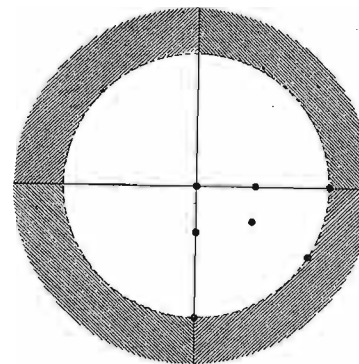
Sl. 423.

II. Hemimorfija rompske holoedrije (26. kristalni razred) postaje gubitkom jedne ravnine simetrije i to koje god od tri nazočne ravnine simetrije; najradije se uzima, da se je izgubila ona ravnina simetrije, koja je okomita na os *c* (sl. 424.). Taj gubitak povukao je za sobom i gubitak

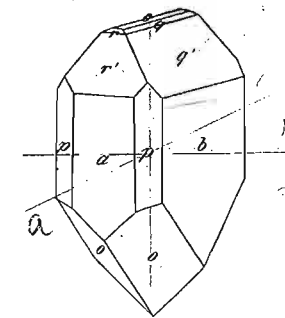
dviju digonskih osi simetrije i gubitak centra simetrije; prema tome rompska hemimorfija ima samo 2 vertikalne ravnine simetrije i jednu vertikalnu digonsku os simetrije.

Ako se kod razvitka rompske hemimorfije izgubila ona ravnina simetrije, koja je okomita na vertikalnu os *c*, ostat će vertikalne prizme, brahipinakoid i makropinakoid geometrijski nepromijenjeni, a bipiramide, makrodome i brahidome raspast će se u polovice (sl. 424.); osnovni pinakoid raspast će se u 2 pediona.

Od minerala kristalizuje se u ovom kristalnom razredu na pr. hemimorfit (sl. 425.).

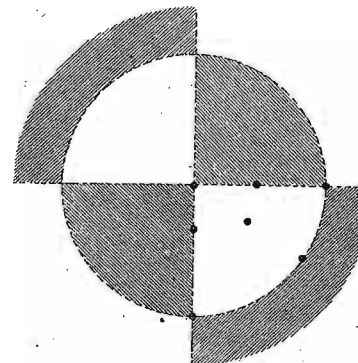


Sl. 424.

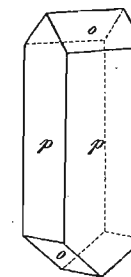


Sl. 425.

III. Hemiedrija rompske holoedrije (27. kristalni razred) nema nijedne ravnine simetrije (sl. 426.), ni centra simetrije nego samo 3 međusobno okomite digonske osi simetrije; forme su enantiomorfne.



Sl. 426.



Sl. 427.

Nove će geometrijske forme dati samo rompske bipiramide i to 2 korelatna *rompska bisfenoida* (sl. 427.), desni {hkl} i lijevi {h $\bar{k}$ l}, koji imaju asimetrijske plohe. Ostale forme ostaju geometrijski nepromijenjene, ali su dakako kristalografski istoga stupnja simetrije kao i bisfenoidi.

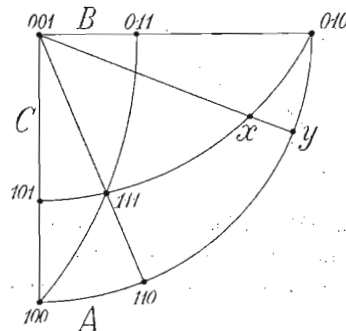
Od minerala kristalizuje se u ovom kristalnom razredu na pr. gorka so (sl. 427.).

Rompski sustav obuhvata dakle 3 kristalna razreda, 1 holodriju i 2 hemiedrije.

Od 565 tačno proučenih minerala kristalizuju se u rompskom sustavu 155; od toga u holodriji 138.

#### Izračunavanje osnoga odnosa, kutova (uglova) i znakova kristalnih formi rompskoga sustava.<sup>1)</sup>

a) *Traži se osni odnos.* Kako su u rompskom sustavu sve tri kristalne osi jednaké dužine, odabiramo jednu od njih, i to os *b*, kao jedinicu, a za druge dvije tražimo odnos prema osi *b*; da nadjemo osni odnos  $a : b : c = a : 1 : c$ , moramo obaviti na kristalu dva mjerenja. Najjednostavniji je slučaj, gdje je mjereno kut prizme (110) : (1 $\bar{1}$ 0) i dome (011) : (0 $\bar{1}$ 1).



Sl. 428.

Neka je mjereno dakle kut prizme (110) : (1 $\bar{1}$ 0) ili njegova polovica (110) : (100) = A (sl. 428.); A (110) : (100) daje osni odnos  $a : b$ , gdje je  $b = 1$ , po formuli  $a = \text{tg } A$ . Osnog odnos za *c* dobit ćemo iz mjerenja dome (011) : (0 $\bar{1}$ 1) ili njezine polovice (011) : (001) = B po formuli  $c = \text{tg } B$  (sl. 428.).

Primjer: Mjereno je kod barita kut (110) : (100) = 39° 11' 13" i (011) : (001) = 52° 43' 8";

$$a = \text{tg } (110) : (100) = \text{tg } 39^\circ 11' 13'' \quad c = \text{tg } (011) : (001) = \text{tg } 52^\circ 43' 8''$$

$$\log a = 9.91126 \quad \log c = 0.11845$$

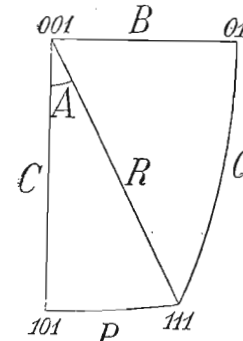
$$a = 0.8152. \quad c = 1.3135.$$

Osnog je odnos barita  $a : b : c = 0.8152 : 1 : 1.3135$ .

Ako je mjesto (011) : (0 $\bar{1}$ 1) mjereno luk (101) : (1 $\bar{0}$ 1) ili njegova polovica (101) : (001) = C (sl. 428.), onda je  $c = a \cdot \text{tg } C$ ;  $c = \text{tg } A \cdot \text{tg } C$ .

<sup>1)</sup> P. Groth: Physikalische Krystallographie. Vierte Auflage, pag. 594.

Primjer: Mjereno je kod barita kut (101) : (001) = C = 58° 10' 30"; koliki je *c*?



Sl. 429.

$$(1) \quad \sin A = \frac{\sin P}{\sin R}; \text{ u sfernom trokutu } (001), (101), (111);$$

$$(2) \quad \sin (P-A) = \cos A = \frac{\sin Q}{\sin R}.$$

Ako te dvije jednačbe (1) i (2) medjusobno razdijelimo, dobit ćemo:

$$\text{tg } A = \frac{\sin P}{\sin Q} = a.$$

Za izračunavanje osnog odnosa za *c* služi luk B = (001) : (011), koji se da neposredno izračunati iz trokuta (001), (011), (111), čiji je kut kod (001) = 90° - A i to iz ove jednačbe:

$$\sin B = \text{tg } Q \cdot \cotg (90^\circ - A),$$

$$\sin B = \text{tg } Q \cdot \text{tg } A$$

$$\text{tg } B = c.$$

Primjer: Mjereno je kod cerusita kut (111) : (1 $\bar{1}$ 1) = 49° 59' 30" = 2P i kut (111) : (1 $\bar{1}$ 1) = 87° 42' = 2Q; neka se odredi osni odnos  $a : b : c$ . P = 24° 59' 45", Q = 43° 51', dakle:

$$a = \frac{\sin P}{\sin Q} = \frac{\sin 24^\circ 59' 45''}{\sin 43^\circ 51'}$$

$$\log \sin 24^\circ 59' 45'' = 9.62588$$

$$\log \sin 43^\circ 51' = 9.84059$$

$$\log a = 9.78529$$

$$a = 0.6099.$$

Osnog odnos za *c* naći ćemo po formuli:

$$\sin B = \text{tg } Q \cdot \text{tg } A = \text{tg } Q \cdot a$$

$$\log \text{tg } Q = 9.98756$$

$$\log a = 9.78529$$

$$\log \sin B = 9.76785$$

$$B = 35^\circ 52' 10''$$

$$\log \text{tg } B = 9.85918$$

$$\text{tg } B = c = 0.7230.$$

Prema tome je osni odnos cerusita  $a : b : c = 0.6099 : 1 : 0.7230$ . Ako je mjereno samo jedan ovršni kut, P ili Q, i osnovni kut R' = (111) : (110), iz kojega možemo dobiti R = (001) : (111) po formuli R = 90° - R', tad imamo ova dva rješenja:

$$1.) \quad \sin A = \frac{\sin P}{\sin R}; \quad \text{tg } A = a.$$

$$\cos C = \frac{\cos R}{\cos P}; \quad a \cdot \text{tg } C = c.$$

$$2.) \quad \cos A = \frac{\sin Q}{\sin R}; \quad \text{tg } A = a.$$

$$\cos B = \frac{\cos R}{\cos Q}; \quad \text{tg } B = c.$$

Primjer za 1.)

Neka se odredi osni odnos sumpora, ako je mjereno kut  $(111):(111) = 73^\circ 34' = 2P$ ;  $P = 36^\circ 47'$ ; i kut  $(001):(111) = 71^\circ 39' 45'' = R$ .

$$\sin A = \frac{\sin P}{\sin R} = \frac{\sin 36^\circ 47'}{\sin 71^\circ 39' 45''}$$

$$\log \sin 36^\circ 47' = 9.77728$$

$$\log \sin 71^\circ 39' 45'' = 9.97737$$


---


$$\log \sin A = 9.79991$$

$$A = 39^\circ 6' 40''$$

$$\text{tg } A = a$$

$$\log \text{tg } A = \log a = 9.91009$$

$$a = 0.8130.$$

$$\cos C = \frac{\cos R}{\cos P}$$

$$\log \cos R = 9.49778$$

$$\log \cos P = 9.90358$$


---


$$\log \cos C = 9.59420$$

$$C = 66^\circ 52' 10''$$

$$c = a \cdot \text{tg } C$$

$$\log a = 9.91009$$

$$\log \text{tg } C = 0.36940$$


---


$$\log c = 0.27949$$

$$c = 1.903.$$

Prema tome je osni odnos sumpora  $a : b : c = 0.8130 : 1 : 1.903$ .

b) Traži se znak iz zadatoga kuta.

1. Traži se znak za prizmu  $\{hk0\}$ , (sl. 431.), ako je mjereno kut  $(hk0):(100)$ . Tu ćemo zadaću riješiti, ako saznamo, u koliko puta većoj udaljenosti siječe prizma  $(hk0)$  os  $a$  negoli osnovna prizma  $(110)$ ; potražiti ćemo dakle tu udaljenost, koju ćemo označiti sa  $a'$  i razdijeliti ćemo je sa  $a$ ; dakle  $a' : a$ . Otprije znamo, da je  $a' = \text{tg}(hk0):(100)$ . Znak je osnovne prizme  $(110) = a : b : \infty c$ , a znak prizme  $(hk0) = ka : hb : \infty c =$

$= \frac{k}{h} a : b : \infty c$ . Iz toga se razabira, da prizma  $(hk0)$  siječe os  $a$  u  $\frac{k}{h}$  puta većoj udaljenosti negoli osnovna prizma  $(110)$ . Dakle je  $\frac{k}{h} = \frac{a'}{a}$ . Kako je  $a' = \text{tg}(hk0):(100)$ ,

$$\text{to je:} \quad \frac{k}{h} = \frac{\text{tg}(hk0):(100)}{a} = \frac{\text{tg}(hk0):(100)}{\text{tg}(110):(100)}.$$

Kad znamo  $(hk0):(100)$ , možemo prema navedenoj formuli izračunati  $\frac{k}{h}$ , a po tom dobijemo znak za prizmu  $(hk0)$ .

Primjer: Mjereno je kod euhroita, komu je osni odnos  $a : b : c = 0.6088 : 1 : 1.0379$ , kut  $(hk0):(100) = 42^\circ 24'$ ; koja je vrijednost za  $(hk0)$ ?

$$\frac{k}{h} = \frac{\text{tg } 42^\circ 24'}{a}$$

$$\log \text{tg } 42^\circ 24' = 9.96053; \text{ od toga numerus} = 0.91312$$

$$\frac{k}{h} = \frac{0.91312}{0.6088} = \frac{3}{2}.$$

Znak za prizmu  $\{hk0\} = \{230\}$ , a to je brahiprizma, budući da je  $h < k$ .

2. Traži se kut prizme  $\{hk0\}$  iz poznatoga znaka.

Malom transformacijom dobit ćemo iz gornje općene formule ovu formulu:

$$\text{tg}(hk0):(100) = \frac{k}{h} a = \frac{k}{h} \cdot \text{tg}(100):(110).$$

Iz te ćemo formule izračunati kutove vertikalnih prizmi iz poznatoga znaka.

Primjer: Neka se nadje kut  $(130):(130)$  kod barita, kome je osni odnos  $a : b : c = 0.8152 : 1 : 1.3135$ . Po gornjoj formuli je  $\text{tg}(130):(100) = \frac{3}{1} \cdot a = 3a$ ; dakle:

$$\frac{0.8152 \times 3}{2.4456}$$

$$\text{tg}(130):(100) = 2.4456$$

$$\log \text{tg}(130):(100) = 0.38839$$

$$(130):(100) = 67^\circ 45' 38''.$$

Odbijemo li to od  $90^\circ$ , dobit ćemo  $(130):(010)$ :

$$\frac{89^\circ 59' 60''}{67^\circ 45' 38''}$$

$$(130):(010) = 22^\circ 14' 22''.$$

Uzmemo li tu vrijednost dvostruko, dobit ćemo traženi kut  $(130):(130) = 44^\circ 28' 44''$ .

3. Traži se znak za brahidomu  $\{0kl\}$  (sl. 431.). Znak se nadje slično kao i za prizmu. Tangenta kuta brahidome  $(0kl):(001)$  daje numerus  $c'$ , koji se razdijeli sa osnovnim  $c$ . Kvocijent  $c' : c$  kazuje, u koliko puta većoj udaljenosti siječe brahidoma  $(0kl)$  os  $c$  nego li osnovna doma  $(011)$ .

Znak je osnovne dome  $(011) = \infty a : b : c$ , a znak dome  $(0kl) = \infty a : lb : kc = \infty a : b : \frac{k}{l} c$ . Doma  $(0kl)$  siječe dakle os  $c$  u  $\frac{k}{l}$  puta većoj udaljenosti od dome  $(011)$ .

Prema tome je:

$$\frac{k}{l} = \frac{c'}{c}.$$

Kako je  $c' = \text{tg}(001):(0kl)$ , to je:

$$\frac{k}{l} = \frac{\text{tg}(001):(0kl)}{c} = \frac{\text{tg}(001):(0kl)}{\text{tg}(001):(011)}.$$

Po toj formuli možemo naći znak brahidome  $(0kl)$ , ako poznamo kut, što ga čini ta brahidoma sa  $(001)$ , t. j. kut  $(001):(0kl)$ .

Primjer: Mjereno je kod barita, komu je osni odnos  $a : b : c = 0.8152 : 1 : 1.3135$ , kut  $(001):(0kl) = 38^\circ 18'$ ; koja je vrijednost za  $(0kl)$ ?

$$\frac{k}{l} = \frac{\text{tg } 33^\circ 18'}{c} = \frac{\text{tg } 33^\circ 18'}{1.3135}$$

$$\log \text{tg } 33^\circ 18' = 9.31748; \text{ od toga numerus} = 0.6568.$$

Prema tome je  $\frac{k}{l} = \frac{0.6568}{1.3135} = \frac{1}{2}$ ; dakle je znak brahidome  $\{0kl\} = \{012\}$ .

4. Traži se kut brahidome  $\{0kl\}$  iz poznatoga znaka. Iz općene formule možemo malom transformacijom dobiti ovu formulu:

$$\text{tg}(001):(0kl) = \frac{k}{l} \cdot c = \frac{k}{l} \cdot \text{tg}(001):(011).$$

Iz te ćemo formule izračunati kut brahidome, ako znamo njezin znak.

Primjer: Neka se izračuna kod barita, komu je osni odnos  $a:b:c = 0.8152:1:1.3135$ , kut  $(013):(0\bar{1}3)$ . Izračunat ćemo kut  $(001):(013)$ .

$$\begin{aligned} \text{tg}(001):(013) &= \frac{1}{3} \cdot 1.3135 \\ \log 1.3135 &= 0.11843 \\ \log 3 &= 0.47712 \\ \hline \log \text{tg}(001):(013) &= 9.64131 \\ (001):(013) &= 23^\circ 38' 43'' \\ (013):(0\bar{1}3) &= 47^\circ 17' 26''. \end{aligned}$$

5. Traži se znak za makrodomu  $\{h0l\}$  (sl. 431.). Neka se nadje znak za makrodomu  $\{h0l\}$ , ako je zadan kut  $(001):(h0l) = C'$ . Riješit ćemo to ovako:

Makrodoma  $(101)$  siječe os  $c$  u udaljenosti  $c = a \cdot \text{tg } C$ , gdje je  $C = (001):(101)$ ; makrodoma  $(h0l)$  siječe os  $c$  u udaljenosti  $c' = a \cdot \text{tg } C'$ . Razdijeliti mo li  $c'$  sa  $c$ , kazuje kvocijent  $\frac{c'}{c}$ , u koliko puta većoj udaljenosti siječe makrodoma  $(h0l)$  os  $c$  od osnovne makrodome  $(101)$ .

Znak je osnovne makrodome  $(101) = a:\infty b:c$ , a znak makrodome  $(h0l) = la:\infty b:hc = a:\infty b:\frac{h}{l}c$ . Doma  $(h0l)$  siječe dakle os  $c$  u  $\frac{h}{l}$  puta većoj udaljenosti od dome  $(101)$ ; prema tome je:

$$\frac{h}{l} = \frac{c'}{c}.$$

Kako je  $c' = a \cdot \text{tg}(001):(h0l)$ , a  $c = a \cdot \text{tg}(001):(101)$ , to je:

$$\frac{h}{l} = \frac{\text{tg}(001):(h0l)}{\text{tg}(001):(101)}.$$

Budući da je  $\text{tg}(001):(101) = \frac{c}{a}$ , možemo pisati:

$$\frac{h}{l} = \frac{a}{c} \cdot \text{tg}(001):(h0l).$$

Po toj se formuli da izračunati znak  $(h0l)$  svake makrodome, ako znamo kut, što ga ona čini sa  $(001)$ , t. j. kut  $(001):(h0l)$ .

Primjer: Mjeren je kod barita, komu je osni odnos  $a:b:c = 0.8152:1:1.3135$ , kut makrodome  $(h0l):(h0l) = 30^\circ 4'$ ; koja je vrijednost za  $(h0l)$ ? Polovica od  $(h0l)$   $(h0l) = (001):(h0l)$ ; dakle je  $(001):(h0l) = 15^\circ 2'$ .

$$\begin{aligned} \frac{h}{l} &= \frac{0.8152}{1.3135} \cdot \text{tg } 15^\circ 2' \\ \log 0.8152 &= 9.91126 \\ + \log \text{tg } 15^\circ 2' &= 9.42906 \\ \hline &= 9.34032 \\ - \log 1.3135 &= 0.11845 \\ \hline \log \frac{h}{l} &= 9.22187 \\ \frac{h}{l} &= 0.16667 = \frac{1}{6}. \end{aligned}$$

Znak je dakle makrodome  $\{h0l\} = \{106\}$ .

6. Traži se kut makrodome  $\{h0l\}$  iz poznatoga znaka. Želimo li iz znaka makrodome naći njen kut, poslužiti ćemo se ovom formulom:

$$\text{tg}(001):(h0l) = \frac{h}{l} \cdot \frac{c}{a}, \text{ koja se dobije transformacijom iz formule:}$$

$$\frac{h}{l} = \frac{a}{c} \cdot \text{tg}(001):(h0l).$$

7. Traži se znak za piramide. Ako imamo neku piramidu, koja nije određena sa dvije zone, moramo obaviti dva mjerenja, kao i za osnovnu piramidu, naći joj osni odnos  $c'$  i razdijeliti ga sa osnim odnosom osnovne piramide  $c$  t. j.  $c':c$ ; a isto tako i  $a':a$ .

Primjer: Mjereni su kod barita, komu je osni odnos  $a:b:c = 0.8152:1:1.3135$ , ovi kutovi:  $(hkl):(h\bar{k}l) = 113^\circ 49' = 2g$  i  $(hkl):(hkl) = 40^\circ 4' = 2g'$ ; koja je vrijednost za  $(hkl)$ ?

Uzet ćemo polovicu mjerenih kutova:

$$(hkl):(h0l) = 56^\circ 54' 30'' = g \text{ i } (hkl):(0kl) = 20^\circ 2' = g'.$$

Imamo dva pravokutna sferna trokuta  $(001)$ ,  $(h0l)$ ,  $(hkl)$  i  $(001)$ ,  $(hkl)$ ,  $(0kl)$ , koji imaju zajedničku hipotenuzu  $d$  (sl. 430.).

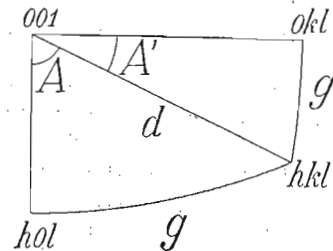
$$A + A' = 90^\circ.$$

Veličinu tih dvaju kutova možemo lako naći:

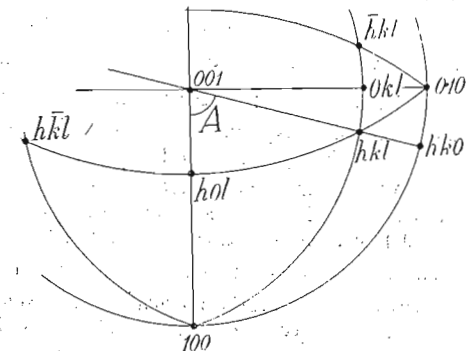
$$\begin{aligned} \cotg A &= \frac{\sin g'}{\sin g} = \frac{\sin 20^\circ 2'}{\sin 56^\circ 54' 30''} \\ \log \sin 20^\circ 2' &= 9.53475 \\ \log \sin 56^\circ 54' 30'' &= 9.92314 \\ \hline \log \cotg A &= 9.61161 \\ A &= 67^\circ 45' 39''. \end{aligned}$$

Kut  $A$  jednak je luku  $(100):(hk0)$  (sl. 431.). Tangenta toga luka daje vrijednost za  $a'$ :

$$\begin{aligned} \log \text{tg } 67^\circ 45' 39'' &= 0.39839 \\ \text{tg } 67^\circ 45' 39'' &= a' = 2.4456. \end{aligned}$$



Sl. 430.

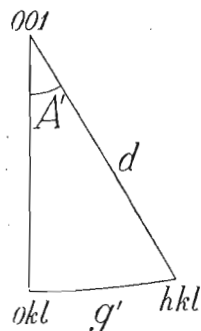


Sl. 431.

Omjer  $a':a$  kazuje, u koliko puta većoj udaljenosti siječe ploha  $(hkl)$  os  $a$  nego osnovna piramida  $(111)$ ; dakle  $a':a = 2.4456:0.8152 = 3$ ; siječe je dakle u udaljenosti 3. Sad ćemo naći vrijednost  $c'$  za plohu  $(hkl)$ ;  $c' = \text{tg}(001):(0kl)$ .

1) Izvadjanje ove formule vidi kod teseralnoga sustava str. 119.

(001):(0kl) naći ćemo iz sfernoga pravokutnoga trokuta (001), (hkl), (0kl), u kom znamo kut pri (001) =  $A' = 90^\circ - A$  i zadatu stranicu  $g'$  (sl. 432.).



Sl. 432.

$$\begin{array}{r} 89^\circ 59' 60'' \\ - 67^\circ 45' 39'' \\ \hline A' = 22^\circ 14' 21'' \end{array} \quad \begin{array}{l} \sin(001):(0kl) = \frac{\text{tg } g'}{\text{tg } A'} \\ \sin(001):(0kl) = \frac{\text{tg } 20^\circ 2'}{\text{tg } 22^\circ 14' 21''} \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \log \text{tg } 20^\circ 2' = 9.56185 \\ \log \text{tg } 22^\circ 14' 21'' = 9.61161 \\ \hline \log \sin(001):(0kl) = 9.95024 \\ (001):(0kl) = 63^\circ 5' 33''. \end{array}$$

Da nađemo  $c'$ , moramo poznavati  $\text{tg}(001):(0kl)$ ; dakle:

$$\begin{array}{r} \log \text{tg } 63^\circ 5' 33'' = 0.29457 \\ \text{tg } 63^\circ 5' 33'' = c' = 1.9704 \\ c' : c = 1.9704 : 1.3135 = \frac{3}{2}. \end{array}$$

Piramida (hkl) siječe dakle os  $c'$  u  $\frac{3}{2}$  puta većoj udaljenosti od osnovne piramide {111}. Prije smo našli, da ona siječe os  $a$  u 3 puta većoj udaljenosti od osnovne piramide, dakle joj je znak po Weissu  $(3a : b : \frac{3}{2}c) = 6a : 2b : 3c = \frac{3}{2}\bar{3} = \{132\}$ .

Iz toga se primjera vidi, kako bi trebalo postupati, da je zadat kut (hkl):(h0l) i (hkl):(hk0) ili (hkl):(0kl) i (hkl):(hk0). U svakom slučaju valja naći kut  $A$ .

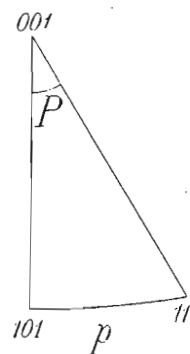
Može dostajati i jedno mjerenje, ali u tom slučaju mora piramida ležati u jednoj poznatoj zoni. Neka na pr. piramida  $x$  (sl. 428.) otupljuje brid (111):(010); njezin pol  $x$  leži tada u zoni [111, 010]. Ako je mjerena luka  $x$ :(010), prelazimo u trokut (001), (101),  $x$ , jer smo povukli zonu [001, y]; u tom trokutu znamo stranicu  $x$ :(101) kao dopunjak mjerene stranice  $x$ :(010) do  $90^\circ$ ; stranicu (001):(101) možemo izračunati iz osnoga odnosa  $a : b : c$ , jer je  $c = a \cdot \text{tg } C$ , a odatle slijedi  $\text{tg } C = \frac{c}{a}$ ;  $C = (001):(101)$ ; sada možemo izračunati kut kod (001), koji je jednak luku (100):y, iz koga neposredno slijedi znak za prizmu  $y$ , koja odgovara piramidi  $x$ , prema formuli  $\frac{k}{h} = \frac{\text{tg}(001):y}{a}$ . Sad ćemo lako naći znak piramide po zonalnim zakonima, jer ona leži na presjecištu poznatih zona [001, y] i [111, 010].

Ako je mjerena luka  $x$ :(111), imamo opet isti trokut (001), (101),  $x$ , gdje treba naći kut kod (001), koji je jednak luku  $y$ :(100); taj luk daje znak za prizmu  $y$ . Kut kod (001) naći ćemo ovako: U trokutu (001),  $x$ , (101) naći ćemo stranicu (001):(101) iz osnoga odnosa po formuli  $\text{tg } C = \frac{c}{a}$ ; a (101): $x = (111):x + (101):(111)$ ; (111): $x$  je mjereno, a (101):(111) izračunamo iz trokuta (001), (101), (111), gdje znamo stranicu (001):(101). Još ćemo naći kut pri (001), koji je jednak luku (100):(110) i to iz osne dužine  $a$  prema formuli  $\text{tg } A = a$ , gdje je  $A = (100):(110)$ . Sad znamo u trokutu (001), (101), (111) stranicu (001):(101) i kut kod (001) =  $A$ , pa možemo izračunati stranicu (101):(111) u tom trokutu. Tako je zadatak riješen, jer sad znamo u sfernom pravokutnom trokutu (001), (101),  $x$  ove dvije veličine: stranicu (001):(101) i stranicu (101): $x = (101):(111) + (111):x$ , pa možemo u tom trokutu izračunati kut pri (001), koji je jednak luku (100):y, a koji daje znak za prizmu  $y$ . Sad se lako izračuna znak plohe  $x$ , jer znamo, da ona leži na presjecištu ove dvije poznate zone: [010, 111] i [001, y].

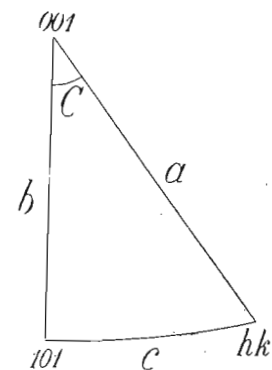
Primjer: Na kristalu aragonita, koji ima osni odnos  $a : b : c = 0.62244 : 1 : 0.72056$ , mjerena je luka (hkl):(111) =  $18^\circ 4' 12''$ ; ploha (hkl) leži u zoni [111, 010]; koja je vrijednost za (hkl)?

Naći ćemo stranicu (101):(111) iz sfernoga pravokutnoga trokuta (001), (101), (111) (sl. 433.), jer su osnim odnosom određena dva elementa toga trokuta, stranica (001):(101) i kut kod (001) = (100):(110):

$$\begin{array}{r} \text{tg}(001):(101) = \frac{c}{a} = \frac{0.72056}{0.62244} \\ \log 0.72056 = 9.85767 \\ - \log 0.62244 = 9.79410 \\ \hline \log \text{tg}(001):(101) = 0.06357 \\ (001):(101) = 49^\circ 10' 42''. \end{array}$$



Sl. 433.



Sl. 434.

Kut kod (001) P jednak je luku (100):(110), a znamo, da je  $\text{tg}(100):(110) = a$ . Prema tome je  $\text{tg } P = a$ :

$$\begin{array}{r} \text{tg } P = 0.62244 \\ \log \text{tg } P = \log 0.62244 = 9.79410 \\ P(001) = 31^\circ 54'. \end{array}$$

U trokutu (001), (101), (111) znamo sada stranicu (001):(101) =  $49^\circ 10' 42''$  i kut  $P(001) = 31^\circ 54'$ , možemo dakle naći stranicu  $p$  (101):(111):

$$\begin{array}{r} \text{tg}(101):(111) = \sin(001):(101) \cdot \text{tg } P(001) \\ \text{tg}(101):(111) = \sin 49^\circ 10' 42'' \cdot \text{tg } 31^\circ 54' \\ \log \sin 49^\circ 10' 42'' = 9.87895 \\ \log \text{tg } 31^\circ 54' = 9.79410 \\ \hline \log \text{tg}(101):(111) = 9.67305 \end{array}$$

$$(101):(111) = 25^\circ 13' 18''.$$

Zbrojimo (101):(111) + (111):(hkl):

$$\begin{array}{r} 25^\circ 13' 18'' \\ 18^\circ 4' 12'' \\ \hline 43^\circ 17' 30''. \end{array}$$

Tako smo dobili kut (101):(hkl) =  $43^\circ 17' 30''$ , pa ćemo riješiti trokut (001), (101), (hkl) (sl. 434.), u kom znamo stranicu (001):(101) =  $49^\circ 10' 42'' = b$  i stranicu (101):(hkl) =  $43^\circ 17' 30'' = c$ ; možemo dakle izračunati kut kod C (001) = (100):(hk0).

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} C &= \frac{\operatorname{tg} c}{\sin b} \\ \log \operatorname{tg} 43^\circ 17' 30'' &= 9.97409 \\ - \log \sin 49^\circ 10' 42'' &= 9.87895 \\ \hline \log \operatorname{tg} C &= 0.09514 \\ C &= (100) : (hk0) = 51^\circ 13' 34''. \end{aligned}$$

Taj će kut dati znak za prizmu  $(hk0)$ , koja odgovara piramidi  $(hkl)$  po ovoj formuli:

$$\frac{k}{h} = \frac{\operatorname{tg}(hk0) : (100)}{a} = \frac{\operatorname{tg} 51^\circ 13' 34''}{0.62244}$$

$$\begin{aligned} \log \operatorname{tg} 51^\circ 13' 34'' &= 0.09514 \\ \operatorname{tg} 51^\circ 13' 34'' &= 1.2449 \end{aligned}$$

$$\frac{k}{h} = \frac{1.2449}{0.62244} = 2 = \frac{2}{1}$$

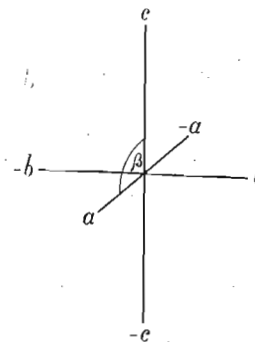
Znak je za piramidu  $\{hk0\} = \{120\}$ . Znak za piramidu  $\{hkl\}$  naći ćemo lako, jer ona leži na presjecištu dviju zona  $[111, 010]$  i  $[001, 120]$ ; njezin je znak  $\{121\}$ .

8. Traži se kut za piramidu  $\{hkl\}$  iz poznatoga znaka. Ako znamo znak  $(hkl)$ , znamo i znakove onih doma, koje otupljuju ovršne bridove piramide  $(hkl)$ ; to su dome  $(h0l)$  i  $(0kl)$ . Isto tako znamo i znak prizme  $(hk0)$ , koja otupljuje osnovni brid piramide. Iz znaka te prizme  $(hk0)$  možemo na poznati način izračunati kut  $(100) : (hk0)$ ; taj je kut jednak kutu, što ga čine zone  $[001, 100]$  i  $[001, hk0]$ . Iz znakova doma izračunat ćemo na poznati način njihove kutove prema  $(001)$ , t. j.  $(001) : (h0l)$  i  $(001) : (0kl)$ . Sad ćemo riješiti trokut  $(001)$ ,  $(h0l)$ ,  $(hkl)$  (sl. 431.), u kom znamo stranicu  $(001) : (h0l)$  i kut kod  $(001) = (100) : (hk0)$ ; možemo dakle izračunati stranicu  $(h0l) : (hkl)$ , a ona je polovica onoga ovršnoga brida piramide, što ga otupljuje makrodoma. Još ćemo riješiti trokut  $(001)$ ,  $(0kl)$ ,  $(hkl)$ , u kom znamo stranicu  $(001) : (0kl)$  i kut kod  $(001) = 90^\circ - (100) : (hk0)$ ; možemo dakle izračunati stranicu  $(hkl) : (0kl)$ , a to je polovica onoga ovršnoga brida piramide, što ga otupljuje brahidoma.

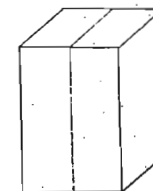
Da izračunamo osnovni brid  $(hkl) : (hk0)$ , vratit ćemo se u trokut  $(001)$ ,  $(h0l)$ ,  $(hkl)$ , pa ćemo u njem izračunati stranicu  $(001) : (hkl)$ . Odbijemo li to od  $90^\circ$ , dobit ćemo veličinu osnovnog brida piramide  $(hkl) : (hk0)$ .

**42. Monoklinski sustav.** Ovaj sustav možemo najlakše izvesti iz rompskoga sustava tako, da os  $a$  pomaknemo iz njezinoga horizontalnoga položaja u kosi položaj, u kom će ona sa osi  $c$  činiti kut (ugao) veći od  $90^\circ$ , a sa osi  $b$  kut od  $90^\circ$ . Prema tome monoklinski sustav ima tri osi različite dužine (sl. 435.); dvije su osi medju sobom nagnute (os  $a$  i os  $c$ ), a treća (os  $b$ ) je horizontalna i okomita na obje kose osi. Osi se postavljaju tako, da jedna os bude vertikalna; nju zovemo glavnom osi i označujemo je slovom  $c$  kao i u drugim sustavima sa nejednakim osima. Druga os leži u horizontalnoj ravnini, pruža se poprečno od lijeva na desno, a zovemo je *ortoos*, jer je okomita na druge dvije osi; ortoos označujemo slovom  $b$ . Treća se os uzdiže koso i stoji u istoj ravnini, u kojoj i glavna os  $c$ , s kojom čini kut veći od  $90^\circ$ ; tu os zovemo *klinoos* (kosa os) i označujemo je slovom  $a$ . Uvijek kod postavljanja monoklinskih kristala tuplji kut, što ga čini os  $a$  sa osi  $c$ , dakle kut  $\beta$ , okrenut je prema posmatraču.

Budući da su sve tri osi nejednake dužine, odabiramo jednu (os  $b$ ) kao jedinicu, a za druge dvije osi (os  $a$  i os  $c$ ) tražimo odnos prema osi  $b$ . Osnovi kutovi (uglovi) zavise o položaju osi, pa kako se dvije osi sijeku pod



Sl. 435.

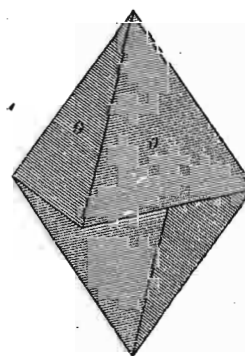


Sl. 436.

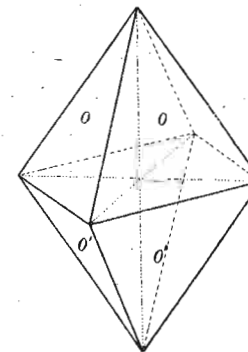
pravim, a jedna pod kosim kutom, to je  $\alpha = \gamma = 90^\circ$ ,  $\beta > 90^\circ$ . Za tačno odredjenje osnih elemenata monoklinskoga sustava  $a : b : c$  ili  $\frac{a}{b} : 1 : \frac{c}{b}$  i  $\beta$  moramo obaviti mjerenja triju različitih kutova.

**I. Holoedrija** (28. kristalni razred) monoklinskoga sustava obuhvata forme sa najvećim stupnjem simetrije, što ga može da ima osni krst toga sustava. Na tim formama možemo naći 1 ravninu simetrije (sl. 436.), koja prolazi kroz osi  $a$  i  $c$ , 1 digonsku os simetrije, koja je okomita na ravninu simetrije (podudara se sa osi  $b$ ) i centar simetrije.

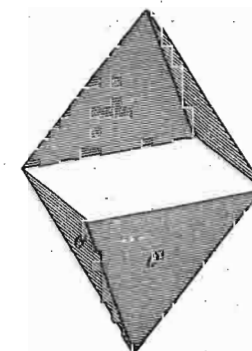
S obzirom na položaj ploha prema osima imamo i u monoklinskom sustavu 7 vrsta kristalnih forma; one su kao i u rompskom sustavu pira-



Sl. 437.



Sl. 438.



Sl. 439.

mide, prizme, dome i pinakoidi i dadu se izvesti na isti način, kao i u rompskom sustavu jedna iz druge.

1. *Monoklinske piramide* razvile su se sa plohama, koje su položene prema osima tako, da svaku od njih sijeku u različitoj udaljenosti (sl. 438), te ih prema tome može biti neograničen broj; sve se pojavljuju samo sa takvim plohama, od kojih su četiri i četiri iste vrste, t. j. monoklinske piramide raspadaju se u *polupiramide (hemipiramide)*, od kojih svaka ima četiri plohe (sl. 437., 439.). One polupiramide, koje se nalaze na strani oštrog kuta  $\beta$ , jesu pozitivne (sl. 439.), a one, koje se nalaze na strani tupoga kuta  $\beta$ , jesu negativne (sl. 437.). Polupiramide otvorene su forme i ne mogu nikada doći same za sebe, nego samo u kombinaciji sa kojom drugom formom monoklinskoga sustava. Kako su posve nezavisne jedna od druge, to se često razvije na kristalu (uz ostale forme) ili samo pozitivna ili samo negativna polupiramida.

Dakako da i u ovom sustavu odabiramo jednu od tih piramida kao osnovnu, pa iz nje izvodimo sve ostale forme monoklinskoga sustava. Takva osnovna piramida ima po Naumannu znak  $\pm P$ , u kom su sadržane obje piramide, pozitivna  $+P$  i negativna  $-P$ ; Weiss je označuje znakom  $(a : b : c)$ , a Miller pozitivnu  $\{\bar{1}11\}$ , negativnu  $\{111\}$ . Ako se sjetimo, kako smo iz osnovne piramide rompskoga sustava izveli sve druge rompske piramide, lako ćemo izvesti iz monoklinske osnovne piramide sve druge monoklinske piramide. Ako u njoj raste ili pada os  $c$ , razvijat će se šiljatije i tuplje piramide, dakle čitav niz piramida, koje imaju općeni znak  $\pm mP = (a : b : mc) = \{hhl\}$  i  $\{hhl\}$ , t. j. pozitivna i negativna piramida; ako je  $h > l$ , piramide su šiljatije, na pr.  $+3P = \{\bar{3}31\}$ ,  $-2P = \{221\}$ ; ako je  $h < l$ , piramide su tuplje, na pr.  $+\frac{1}{4}P = \{\bar{1}14\}$ ,  $-\frac{3}{8}P = \{338\}$ . Kako se te piramide produljuju ili skraćuju smjerom vertikalne osi  $c$ , zovemo ih piramidama vertikalnoga niza.

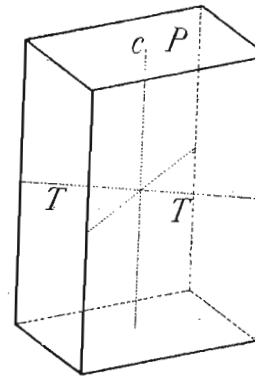
Ako u piramidi  $\pm mP$  postane ortoos, os  $b$ ,  $n$ -puta veća, razvija se čitav niz ortopiramida, kojima je općeni znak  $\pm nPn$  (znak  $-$  kaže, da se koeficijent  $n$  odnosi na os  $b$ , ortoos)  $= (a : nb : mc) = \{hkh\}$  i  $\{hkh\}$ , t. j. pozitivna i negativna ortopiramida, gdje je  $h > k$ , na pr.  $+P2 = \{\bar{2}12\}$ ,  $+2P3 = \{\bar{6}23\}$ ,  $-\frac{3}{4}P4 = \{413\}$ ,  $-7P7 = \{711\}$ .

Postane li u piramidi  $\pm nPn$  klinooos, os  $a$ ,  $n$ -puta veća, razvit će se klinopiramide, kojima je znak  $\pm nPn$  (znak  $\setminus$  kaže, da se koeficijent  $n$  odnosi na os  $a$ , klinooos)  $= (na : b : mc) = \{hkk\}$  i  $\{hkk\}$ , t. j. pozitivna i negativna klinopiramida, gdje je  $h < k$ , na pr.  $+P2 = \{\bar{1}22\}$ ,  $-P\frac{3}{4} = \{344\}$ ,  $+\frac{2}{3}P2 = \{\bar{1}23\}$ ,  $-3P\frac{3}{2} = \{231\}$ .

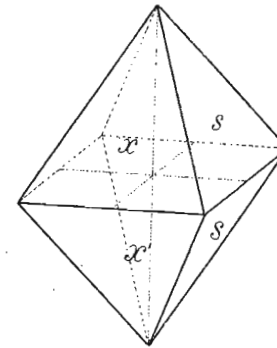
2. *Monoklinske prizme* daju se izvesti iz monoklinskih piramida tako, da koju god od tri osi učinimo neizmjerljivo velikom.

Iz osnovne piramide  $\pm P$ , pa uopće iz piramida vertikalnoga niza razvit će se osnovna prizma, kad os  $c$  postane neizmjerljivo velika (sl. 440. ploha  $T$ ). Osnovna prizma ima znak  $\infty P = (a : b : \infty c) = \{110\}$ . Iz ortopiramida  $\pm nPn$  dolazi do razvitka ortoprizme, kad bude  $m = \infty$ ; općeniti je znak ortoprizme  $\infty Pn = (a : nb : \infty c) = \{hk0\}$ , gdje je  $h > k$ , na pr.  $\infty P2 = (a : 2b : \infty c) = \{210\}$ . Iz klinopiramida  $\pm nPn$  dolazi do razvitka klinoprizme, kad bude  $m = \infty$ ; općeniti je znak klinoprizme  $\infty Pn = (na : b : \infty c) = \{hk0\}$ , gdje je  $h < k$ , na pr.  $\infty P5 = (5a : b : \infty c) = \{150\}$ .

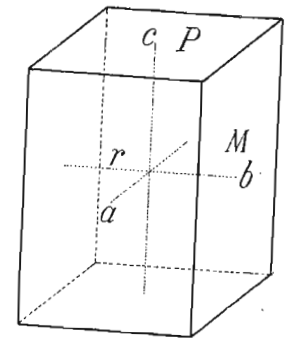
3. *Ortodome* mogu postati iz osnovne piramide  $\pm P$  ili iz koje god piramide vertikalnoga niza  $\pm mP$  ili iz koje god ortopiramide  $\pm nPn$  tako, da ortoos, os  $b$ , postane neizmjerljivo velika (u sl. 441. ploha  $x x'$ ). Poput monoklinskih piramida raspadaju se i ortodome u *poludome (hemidome)* (sl. 441. i 443. ploha  $x$  i sl. 441. i 445. ploha  $x'$ ), pa kad se te forme pojavljuju na kristalima, pojavljuju se sa plohama, od kojih su dvije i dvije iste vrste. One ortodome, koje se nalaze na strani oštrog kuta  $\beta$ , jesu pozitivne (sl. 441. ploha  $x'$ ), a one što se nalaze na strani tupoga kuta  $\beta$ , jesu negativne (sl. 441. ploha  $x$ ).



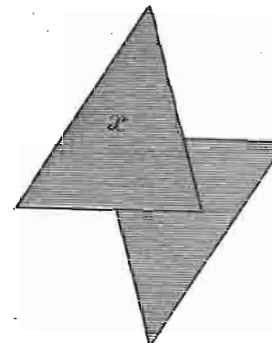
Sl. 440.



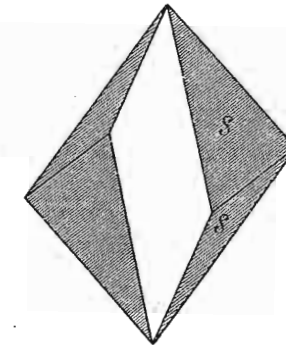
Sl. 441.



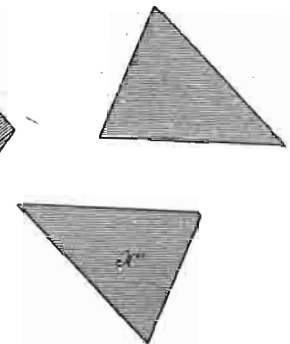
Sl. 442.



Sl. 443.



Sl. 444.

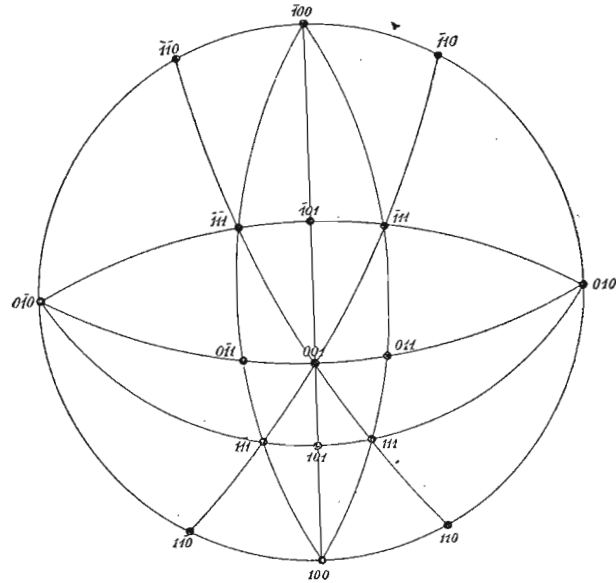


Sl. 445.

Ortodoma, koju smo izveli iz osnovne piramide  $\pm P$ , jest osnovna ortodoma i ima znak  $\pm P\infty = (a : \infty b : c) = \{\bar{1}01\}$  i  $\{101\}$ , t. j. pozitivna i negativna; ortodome, što smo ih izveli iz piramida vertikalnoga niza  $\pm mP$ , pa iz ortopiramida  $\pm nPn$ , imaju općeniti znak  $\pm mP\infty = (a : \infty b : mc) = \{h0l\}$ . Ortodome  $\pm mP\infty$ , kod kojih je  $m > 1$ , jesu šiljatije, kod kojih je  $m < 1$ , jesu tuplje; u Millerovu znaku  $\{h0l\}$ , ako je  $h > 1$ , ortodome



su šiljatije, na pr.  $+5P_{\infty} = \{501\}$ ,  $-\frac{7}{4}P_{\infty} = \{704\}$ ; ako je  $h < 1$ , ortodome su tuplje, na pr.  $+\frac{1}{8}P_{\infty} = \{108\}$ ,  $-\frac{5}{9}P_{\infty} = \{509\}$ .



Sl. 446.

4. *Klinodome* mogu postati iz piramida vertikalnoga niza  $\pm mP$  i iz klinopiramida  $\pm mPn$ , kad os  $a$ , klinoos, postane neizmjereno velika (u sl. 441. ploha s).

Iz osnovne piramide  $\pm P$  postaje osnovna klinodoma sa znakom  $P_{\infty} = (\infty a : b : c) = \{011\}$ ; iz piramida vertikalnoga niza  $\pm mP$  i iz klinopiramida  $\pm mPn$  postaju klinodome sa općenitim znakom  $mP_{\infty} = (\infty a : b : mc) = \{0kl\}$ . Klinodome  $mP_{\infty}$ , kod kojih je  $m > 1$ , jesu šiljatije, kod kojih je  $m < 1$ , jesu tuplje; u Millerovu znaku  $\{0kl\}$ , ako je  $k > 1$ , klinodome su šiljatije, na pr.  $2P_{\infty} = \{021\}$ ,  $\frac{5}{3}P_{\infty} = \{053\}$ ; ako je  $k < 1$ , klinodome su tuplje, na pr.  $\frac{2}{7}P_{\infty} = \{027\}$ ,  $\frac{2}{3}P_{\infty} = \{023\}$ .

5. *Osnovni ili bazni pinakoid*. Ako u osnovnoj piramidi  $\pm P$  ili u piramidama vertikalnoga niza  $\pm mP$  padne glavna os na nul (0), razvit će se osnovni pinakoid sa znakom  $OP = (\infty a : \infty b : c) = \{001\}$ ; u sl. 442. ploha P.

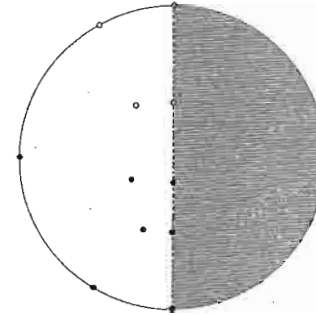
6. *Ortopinakoid* lako ćemo izvesti iz ortoprizme  $\infty Pn$ , ako bude  $n = \infty$ ; znak mu je dakle  $\infty P_{\infty} = (a : \infty b : \infty c) = \{100\}$ ; u sl. 442. ploha r.

7. *Klinopinakoid* možemo izvesti iz klinoprizme  $\infty Pn$  tako, da bude  $n = \infty$ ; znak mu je dakle  $\infty P_{\infty} = (\infty a : b : \infty c)$ ; u sl. 442. ploha M.

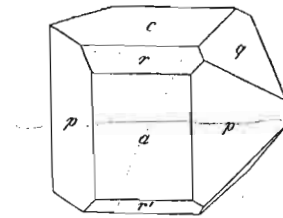
Od minerala, koji se kristalizuju u ovoj holodriji, spomenut ćemo kao primjer ortoklas.

Iz stereografske projekcije (sl. 446.) razabiramo međusoban položaj formi monoklinskoga sustava.

II. *Hemimorfija monoklinske holodrije* (29. kristalni razred) postala je gubitkom jedne ravnine simetrije i centra simetrije tako, da obuhvata one kristalne forme, koje imaju samo jednu digonsku os simetrije; forme su enantiomorfe.



Sl. 447.



Sl. 448.

Forme, što leže na ravnini simetrije, koja se gubi, ostaju geometrijski nepromijenjene; to su ortodome, ortopinakoid i bazni pinakoid. Ostale forme raspadaju se u polovice, od kojih jedne leže desno, druge lijevo od ravnine simetrije (sl. 447. i 448.), koja se izgubila. Piramide i prizme daju desni i lijevi sfenoid sa po 2 plohe, klinopinakoid daje jedan desni i jedan lijevi pedion.

Od minerala kristalizuje se u ovom kristalnom razredu na pr. cinvaldit.

III. *Hemiedrija monoklinskoga sustava* (30. kristalni razred) obuhvata one forme, koje su se razvile iz holodrije na taj način, da se je izgubila digonska os simetrije i centar simetrije, a ostala je ravnina simetrije.

Forme, koje su okomite na os simetrije, ostaju geometrijski nepromijenjene, a takva je forma samo klinopinakoid. Sve druge forme pojavljuju se sa polovicom ploha svojih holodrijskih forma, pa se tako ortopinakoid raspada u 2 pediona, a piramide i prizme u nove forme svaka sa po 2 plohe.

Od minerala kristalizuje se u ovom kristalnom razredu skolecit.

Monoklinski sustav obuhvata dakle 3 kristalna razreda, 1 holodriju i 2 hemiedrije.

Od 565 tačno proučenih minerala kristalizuju se u monoklinskom sustavu 186, od toga u holodriji 180.

Izračunavanje osnovnoga odnosa, kutova (uglova) i znakova kristalnih formi monoklinskoga sustava.<sup>1)</sup>

Za tačno poznavanje kristala monoklinskoga sustava moramo obaviti tri mjerenja; jedno mjerenje dat će veličinu kuta (ugla)  $\beta$ , druga dva mjerenja dat će vrijednost za osni odnos  $a : b : c$ .

<sup>1)</sup> P. Groth: Physikalische Krystallographie, Vierte Auflage, pag. 597.

1. Izračunavanje osnoga kuta  $\beta$  i osnoga odnosa  $a : b : c$ .

a) Neka su na kristalu razvite dvije plohe, koje su paralelne sa ortoosi  $b$ , na pr. ortopinakoid  $\{100\}$  i osnovni pinakoid  $\{001\}$  i dvije prizme (ili dome ili sfenoidi), koje leže u zoni  $[100, 010]$  ili u zoni  $[001, 010]$ , na pr.  $(110)$  i  $(011)$ . U tom slučaju daje mjerenje luka  $(001) : (100)$  direktno osni kut  $\beta$ ; taj je kut suplement kuta  $(001) : (100)$  (sl. 446.), t. j.  $\beta = 180^\circ - (001) : (100)$  ili  $\beta = (001) : (\bar{1}00)$ .

Za izračunavanje osnoga odnosa  $a : b : c$  mjerit ćemo kut  $(001) : (011)$  i  $(100) : (110) = (\bar{1}00) : (\bar{1}10)$ . Iz kuta  $(001) : (011)$  možemo izračunati u pravokutnom sfernom trokutu  $(001), (011), (\bar{1}00)$  kut kod  $(\bar{1}00)$ , dakle kut, što ga čini zona ili brid  $[\bar{1}00, 011]$  sa zonom  $[\bar{1}00, 001]$ , t. j. sa ortoosi  $b$ . Kut pri  $(\bar{1}00)$  daje u tangenti  $\frac{c}{b}$ , gdje je  $b = 1$ .

Isto tako u sfernom pravokutnom trokutu  $(001), (\bar{1}00), (\bar{1}10)$  izračunamo kut pri  $(001)$ , t. j. kut između zone  $[001, \bar{1}10]$  i  $[001, \bar{1}00]$ , a njegova tangenta daje omjer između osi  $a$  i  $b$ , gdje je  $b = 1$ .

Primjer: Kod mirabilita mjereno je kut  $(001) : (100) = 72^\circ 15'$ ,  $(001) : (011) = 49^\circ 40' 45''$  i  $(100) : (110) = (\bar{1}00) : (\bar{1}10) = 46^\circ 44' 30''$ ;  $\beta = (001) : (\bar{1}00) = 180^\circ - (001) : (100)$ ; dakle:  $\beta = 179^\circ 60' - 72^\circ 15' = 107^\circ 45'$ .

Sad ćemo u trokutu  $(001), (\bar{1}00), (011)$  (sl. 449.), u kom poznamo  $(001) : (\bar{1}00) = 107^\circ 45'$  i  $(001) : (011) = 49^\circ 40' 45''$ , izračunati kut kod  $C (\bar{1}00)$ ; tg toga kuta daje  $c : b$ ;

$$\text{dakle: } \text{tg } C (\bar{1}00) = \frac{\text{tg } c}{\sin b} = \frac{\text{tg } 49^\circ 40' 45''}{\sin 107^\circ 45'}$$

$$\log \text{tg } 49^\circ 40' 45'' = 0.07125$$

$$- \log \sin 107^\circ 45' = 9.97882$$

$$\hline \log \text{tg } C (\bar{1}00) = 0.09243.$$

Numerus od 0.09243 daje 1.2371. Prema tome je  $c : b = 1.2371 : 1$ .

U trokutu (sl. 450.)  $(001), (\bar{1}00), (\bar{1}10)$  poznamo stranicu  $(001) : (\bar{1}00) = 107^\circ 45'$  i  $(\bar{1}00) : (\bar{1}10) = 46^\circ 44' 30''$ ; izračunat ćemo tg kuta kod  $C (001)$ , koji daje  $a : b$ ; dakle:

$$\text{tg } C (001) = \frac{\text{tg } c}{\sin b} = \frac{\text{tg } 46^\circ 44' 30''}{\sin 107^\circ 45'}$$

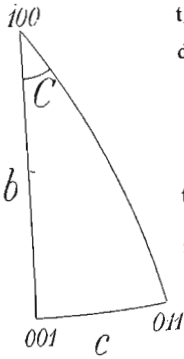
$$\log \text{tg } 46^\circ 44' 30'' = 0.02642$$

$$- \log \sin 107^\circ 45' = 9.97882$$

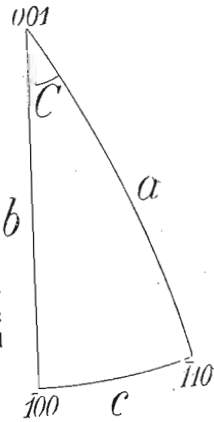
$$\hline \log \text{tg } C (001) = 0.04760$$

$$\text{tg } C (001) = 1.1158$$

$$a : b = 1.1158 : 1.$$



Sl. 449.



Sl. 450.

Prema tome je kristal mirabilita tačno određen, jer poznamo njegove kristalne elemente ili njegove geometrijske konstante, t. j.  $\beta = 107^\circ 45'$ ,  $a : b : c = 1.1158 : 1 : 1.2371$ .

b) Ako su se na kristalu razvile obje prizme, vertikalna  $(110)$  i horizontalna  $(011)$ , mora se izračunati još i kut  $\beta$ . Neka su mjereni kutovi  $(110) : (\bar{1}10)$ ,  $(011) : (0\bar{1}1)$  i  $(011) : (110)$ , tada su u sfernom kosokutnom trokutu  $(011), (010), (\bar{1}10)$  poznate sve tri stranice i to  $(010) : (\bar{1}10)$  kao polovica mjenenoga kuta  $(110) : (\bar{1}10)$ ,  $(011) : (010) = 90^\circ - \frac{1}{2} (011) : (0\bar{1}1)$  i  $(011) : (\bar{1}10)$  kao mjerena stranica; možemo dakle izračunati kut kod  $(010)$ , koji je jednak kutu  $(001) : (\bar{1}00) = \beta$ , a kad poznamo taj kut, izračunat ćemo  $a$  i  $c$  kao kod a.).

Primjer: Mjeren je kod mirabilita  $(110) : (\bar{1}10) = 86^\circ 31'$ ,  $(011) : (0\bar{1}1) = 99^\circ 21' 30''$  i  $(011) : (\bar{1}10) = 65^\circ 9' 40''$ ; neka se nadje osni kut  $\beta$  i osni odnos  $a : b : c$ . Rješenje će nam dati sferni kosokutni trokut (sl. 451.)  $(011), (010), (\bar{1}10)$ , u kom poznamo sve tri stranice i to  $a (010) : (\bar{1}10) = \frac{1}{2} (110) : (\bar{1}10) = 43^\circ 15' 30''$ ,  $c (011) : (010) = 90^\circ - \frac{1}{2} (011) : (0\bar{1}1) = 40^\circ 19' 15''$  i  $b (011) : (\bar{1}10) = 65^\circ 9' 40''$ ; kut  $\beta$  izračunat ćemo po formuli:

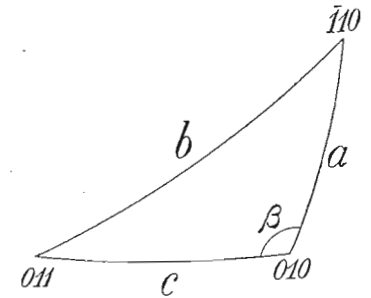
$$\text{tg } \frac{\beta}{2} = \sqrt{\frac{\sin(s-a) \cdot \sin(s-c)}{\sin s \cdot \sin(s-b)}}$$

gdje je  $s = \frac{a+b+c}{2}$ ; dakle:

$$\begin{aligned} 43^\circ 15' 30'' &= a \\ + 65^\circ 9' 40'' &= b \\ + 40^\circ 19' 15'' &= c \\ \hline 148^\circ 44' 25'' &= 2s \\ s &= 74^\circ 22' 13'' \\ s - a &= 31^\circ 6' 43'' \\ s - b &= 9^\circ 12' 33'' \\ s - c &= 34^\circ 2' 58'' \end{aligned}$$

$$\text{tg } \frac{\beta}{2} = \sqrt{\frac{\sin 31^\circ 6' 43'' \cdot \sin 34^\circ 2' 58''}{\sin 74^\circ 22' 13'' \cdot \sin 9^\circ 12' 33''}}$$

$$\begin{aligned} \log \sin 31^\circ 6' 43'' &= 9.71325 \\ + \log \sin 34^\circ 2' 58'' &= 9.74811 \\ \hline &= 9.46136 \end{aligned}$$



Sl. 451.

$$\begin{aligned} \log \sin 74^\circ 22' 13'' &= 9.98364 \\ + \log \sin 9^\circ 12' 33'' &= 9.20423 \\ \hline &= 9.18787 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 9.46136 \\ - &= 9.18787 \\ \hline &= 0.27349 : 2 = 0.13675 \end{aligned}$$

$$\text{tg } \frac{\beta}{2} = 0.13675$$

$$\frac{\beta}{2} = 53^\circ 52' 32''$$

$$\beta = 107^\circ 45' 4'' = (001) : (\bar{1}00).$$

Oсни odnos  $a$  i  $c$  izračuna se, kako je rečeno, načinom pod a.).

c.) Neka se je na kristalu razvila prizma  $(110)$  i dvije plohe, koje teku paralelno sa ortoosi  $b$ , na pr.  $(001)$  i  $(101)$ . Mjerimo najprije  $(110) : (\bar{1}10)$  i  $(110) : (001)$ ; kako je  $(100) : (110) = \frac{1}{2} (110) : (\bar{1}10)$ , to u pravokutnom sfernom trokutu  $(110), (100), (001)$  poznamo dvije stranice, te ćemo izračunati osni kut  $\beta$  po formuli  $\beta = 180^\circ - (100) : (001)$ ; u istom ćemo još trokutu izračunati kut  $(001)$ , što ga čine zone  $[001, 110]$  i  $[001, 100]$ ; tg kuta kod  $(001)$  daje osni odnos  $a : b$ .

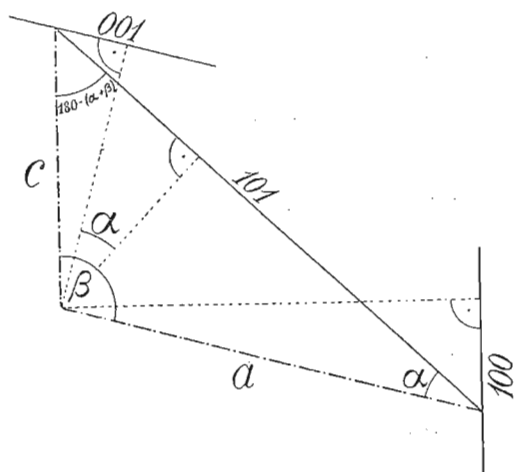
Za izračunavanje osnoga odnosa  $c : b$  služi mjerenje kuta  $(101) : (001)$ , koji pripada ravnom trokutu (sl. 452.), čije su stranice parametri  $a$  i  $c$  i u kom još poznamo kut  $\beta$ , što ga čine te dvije stranice: kad bismo imali  $(\bar{1}01)$  mjesto  $(101)$ , bio bi taj kut jednak  $180^\circ - \beta$ .

Kut  $(001) : (101)$  označen je na sl. 452. sa  $\alpha$ .

$$\frac{c}{a} = \frac{\sin \alpha}{\sin [180^\circ - (\alpha + \beta)]} \text{ ili}$$

$$\frac{c}{a} = \frac{\sin \alpha}{\sin (\alpha + \beta)}$$

1)



Sl. 452.

Označimo li omjer  $a : b$  slovom  $g$ , to je  $a : b = g$  ili  $a = g \cdot b$ . Stavimo li ovaj izražaj za  $a$  u formulu (1), dobit ćemo:

$$\frac{c}{gb} = \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha + \beta)} \text{ ili } \frac{c}{b} = g \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha + \beta)}$$

Stavimo li ponovice  $g = \frac{a}{b}$ , dobit ćemo:

$$\frac{c}{b} = \frac{a}{b} \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha + \beta)}$$

Ova formula služi za izračunavanje  $\frac{c}{b}$  i u njoj poznamo veličine  $\frac{a}{b}$ ,  $\beta$  i  $\alpha$ .

Primjer: Mjeren je kod gipsa  $(110)_g$ ;  $(\bar{1}\bar{1}0) = 68^\circ 30'$ ,  $(001) : (110) = 82^\circ 19' 30''$  i  $(001) : (101) = 28^\circ 16' 40''$ ; neka se odredi osni kut  $\beta$  i osni odnos  $a : b : c$ .

U pravokutnom sfernom trokutu (sl. 453.)  $(001)$ ,  $(100)$ ,  $(110)$ , poznamo stranicu

$$a : (001) : (110) = 82^\circ 19' 30'', \quad c : (100) : (110) = \frac{1}{2} (110) : (110) = 34^\circ 15'; \text{ izračunat ćemo stranicu } b : (001) : (100); \text{ dakle:}$$

$$\cos b = \frac{\cos a}{\cos c} = \frac{\cos 82^\circ 19' 30''}{\cos 34^\circ 15'}$$

$$\log \cos 82^\circ 19' 30'' = 9.12565$$

$$- \log \cos 34^\circ 15' = 9.91729$$


---


$$\log \cos b = 9.20836$$

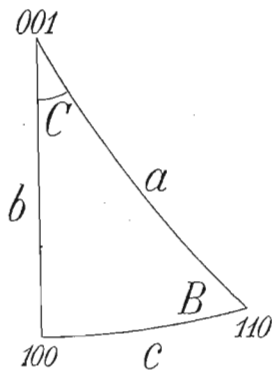
$$b : (001) : (100) = 80^\circ 42' 7''.$$

Sad možemo naći osni kut  $\beta$ :

$$\beta = 180^\circ - (001) : (100); \quad \beta = 99^\circ 17' 53''.$$

U istom ćemo trokutu naći kut kod  $(001) C$ ; tg toga

kuta daje  $\frac{a}{b}$ .



Sl. 453.

$$\sin C(001) = \frac{\sin c}{\sin a} = \frac{\sin 34^\circ 15'}{\sin 82^\circ 19' 30''}$$

$$\log \sin 34^\circ 15' = 9.75036$$

$$- \log \sin 82^\circ 19' 30'' = 9.99609$$


---


$$\log \sin C(001) = 9.75427$$

$$C(001) = 34^\circ 36' 13''$$

$$\log \operatorname{tg} 34^\circ 36' 13'' = 9.83882$$

$$\operatorname{tg} 34^\circ 36' 13'' = \frac{a}{b} = 0.6899.$$

Sad ćemo po formuli  $\frac{c}{b} = \frac{a}{b} \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha + \beta)}$ , gdje je  $\alpha = (001) : (101)$ , a  $\beta = (001) :$

$(\bar{1}00)$ , izračunati  $\frac{c}{b}$ .

$$\alpha = 28^\circ 16' 40''$$

$$\beta = 99^\circ 17' 53''$$

$$\frac{a}{b} = 0.6899$$

$$\begin{array}{r} 99^\circ 17' 53'' \\ + 28^\circ 16' 40'' \\ \hline \alpha + \beta = 127^\circ 34' 33'' \end{array}$$

$$\frac{c}{b} = 0.6899 \cdot \frac{\sin 28^\circ 16' 40''}{\sin 127^\circ 34' 33''}$$

$$\log 0.6899 = 9.83882$$

$$+ \log 28^\circ 16' 40'' = 9.67554$$


---


$$9.51436$$

$$- \log \sin 127^\circ 34' 33'' = 9.89903$$

$$\log \frac{c}{b} = 9.61533$$

$$\frac{c}{b} = 0.4124.$$

Prema tome su kristalni elementi gipsa:  $\beta = 99^\circ 17' 53''$ ,  $a : b : c = 0.6899 : 1 : 0.4124$ .

Ako se na kristalu nije razvila druga ploha, koja je paralelna sa ortoosi  $b$ , ne može se izračunati treća os ( $c$ ); u tome je slučaju izračunavanje kristalnih elemenata nepotpuno. Ako se to odnosi na pr. na plohu  $(011)$ , izostalo bi poznavanje  $a$ .

d) Ako su se na kristalu razvile samo takve plohe, koje su paralelne sa ortoosi  $b$  ili su na njoj okomite, tad se ne da odrediti parametar  $b$ , ali se daje odrediti  $\beta$  i odnos  $a : c$ , ako su bar tri plohe, koje su paralelne sa osi  $b$ , na kristalu razvite. Neka budu to ove plohe:  $(100)$ ,  $(001)$  i  $(101)$  ili  $(\bar{1}01)$ . Mjerit ćemo na goniometru kut  $(001) : (100)$  i  $(001) : (101)$ . Pomoću  $(001) : (100)$  odredit ćemo osni kut  $\beta$ ;  $\beta = 180^\circ - (001) : (100)$ .

Omjer  $\frac{a}{c}$  odredit ćemo pomoću ravnog trokuta (sl. 452.), u kom su dvije stranice parametri  $a$  i  $c$ . Oni čine medju sobom kut  $\beta$ . Označimo li kut  $(001) : (101)$  sa  $\alpha$ , tad ćemo odrediti  $\frac{a}{c}$  po formuli:

$$\frac{a}{c} = \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin \alpha}$$

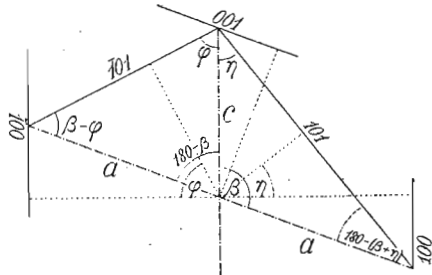
Ako su se medjutim na kristalu razvile tri plohe, na pr.  $(100)$ ,  $(\bar{1}01)$  i  $(101)$ , tada treba računom odrediti i osni kut  $\beta = (\bar{1}00) : (001)$ . U tu ćemo svrhu mjerenjem na goniometru odrediti ova dva kuta:  $(100) : (101) = \eta$  i  $(\bar{1}00) : (\bar{1}01) = \varphi$ . Kut  $\beta$  izračuna se iz ravnoga trokuta (sl. 454.). Iz slike 454. razabira se, da je:

$$c : a = \frac{\sin [180^\circ - (\beta + \eta)]}{\sin \eta} = \frac{\sin (\beta - \varphi)}{\sin \varphi} \quad \text{ili}$$

$$\frac{\sin (\beta + \eta)}{\sin \eta} = \frac{\sin (\beta - \varphi)}{\sin \varphi} \quad \text{ili}$$

$$\frac{\sin \beta \cos \eta + \cos \beta \sin \eta}{\sin \eta} = \frac{\sin \beta \cos \varphi - \cos \beta \sin \varphi}{\sin \varphi} \quad \text{ili}$$

$$\sin \beta \cotg \eta + \cos \beta = \sin \beta \cotg \varphi - \cos \beta.$$



Sl. 451.

Zatim je:

$$\sin \beta \cdot (\cotg \varphi - \cotg \eta) = 2 \cos \beta | : \cos \beta$$

$$\tg \beta \cdot (\cotg \varphi - \cotg \eta) = 2$$

$$\tg \beta \left( \frac{\cos \varphi}{\sin \varphi} - \frac{\cos \eta}{\sin \eta} \right) = 2$$

$$\tg \beta \frac{\sin \eta \cdot \cos \varphi - \cos \eta \cdot \sin \varphi}{\sin \eta \cdot \sin \varphi} = 2$$

$$\tg \beta \frac{\sin (\eta - \varphi)}{\sin \eta \cdot \sin \varphi} = 2 | : \frac{\sin (\eta - \varphi)}{\sin \eta \cdot \sin \varphi}$$

$$\tg \beta = \tg (001) : (\bar{1}00) = \frac{2 \sin \eta \cdot \sin \varphi}{\sin (\eta - \varphi)} \quad \text{ili}$$

$$\tg (180^\circ - \beta) = \frac{2 \sin \eta \cdot \sin \varphi}{\sin (\varphi - \eta)} = \tg (001) : (100).$$

Primjer: Mjeren je kod gipsa (100) : (101) = 52° 25' 30" i (101) : (101) = 61° 25' 10". U gornjoj je formuli (100) : (101) = η, (101) : (100) = φ. Ako zbrojimo (100) : (101) i (101) : (101), pa taj zbroj odbijemo od 180°, dobit ćemo vrijednost za (101) : (100)

$$\varphi = 180^\circ - [(100) : (101) + (101) : (\bar{1}01)]$$

$$\varphi = 180^\circ - 113^\circ 50' 40'' = 66^\circ 9' 20''$$

$$\varphi = (\bar{1}01) : (\bar{1}00) = 66^\circ 9' 20''$$

Poznamo dakle η i φ, pa je:

$$\tg (180^\circ - \beta) = \frac{2 \sin 52^\circ 25' 30'' \cdot \sin 66^\circ 9' 20''}{\sin (66^\circ 9' 20'' - 52^\circ 25' 30'')}$$

$$\tg (180^\circ - \beta) = \frac{2 \sin 52^\circ 25' 30'' \cdot \sin 66^\circ 9' 20''}{\sin 13^\circ 43' 50''}$$

$$\log 2 = 0.30103$$

$$\log \sin 52^\circ 25' 30'' = 9.89903$$

$$\log \sin 66^\circ 9' 20'' = 9.96125$$

$$\hline 0.16131$$

$$\log \sin 13^\circ 43' 50'' = 9.37541$$

$$\log \tg (180^\circ - \beta) = 0.78590$$

$$180^\circ - \beta = 80^\circ 42' 7'' = (001) : (100)$$

$$\beta = 99^\circ 17' 53'' = (001) : (\bar{1}00).$$

Sad ćemo izračunati  $\frac{a}{c}$  po formuli:

$$\frac{a}{c} = \frac{\sin (\alpha + \beta)}{\sin \alpha}$$

gdje je α = (101) : (001) ili:

$$\alpha = (001) : (100) - (101) : (100)$$

$$\alpha = 80^\circ 42' 7'' - 52^\circ 25' 30''$$

$$\alpha = 28^\circ 16' 37''$$

$$\frac{a}{c} = \frac{\sin (28^\circ 16' 37'' + 99^\circ 17' 53'')}{\sin 28^\circ 16' 37''} = \frac{\sin 127^\circ 34' 30''}{\sin 28^\circ 16' 37''}$$

$$\log \sin 127^\circ 34' 30'' = 9.89903$$

$$- \log \sin 28^\circ 16' 37'' = 9.67553$$

$$\log \frac{a}{c} = 0.22350$$

$$a : c = 1.673.$$

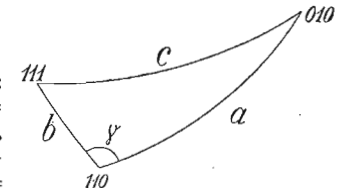
Način, kojim smo u ovom slučaju odredili osni kut β, treba upotrebiti i u slučaju kod c), ako nijednu od ploha paralelnih sa osi b ne uzmemo kao (001).

e) Ako su se na kristalu razvile plohe prizme {110} i piramide {111}, obaviti ćemo mjerenje kuta (110) : (110), (111) : (111) i (111) : (110); po tom mjerenju poznamo tri stranice u sfernom kosokutnom trokutu (010), (111), (110) (sl. 455.) i to stranicu

(111) : (010) = 90° - 1/2 (111) : (111) = 90° - (111) : (101); (110) : (010) = 90° - 1/2 (110) : (110) = 90° - (100) : (110) i mjerenu stranicu (111) : (110). U tom se trokutu izračuna kut kod (110) = γ, što ga čine zone [111, 110] i [010, 110]. Taj kut omogućuje rješenje pravokutnoga sfernoga trokuta (001), (100), (110) (sl. 453.), u kom poznamo stranicu (100) : (110) i kut kod (110) kao dopunjak prije nadjenoga kuta do 180°; izračunat ćemo dakle luk (001) : (100), koji daje vrijednost za osni kut β po formuli β = 180° - (001) : (100) i kut kod (001), koji u tg daje osni odnos a : b. Izračunat ćemo još u tom trokutu hipotenuzu (001) : (110). Budući da poznamo stranicu (111) : (110) kao zadatu veličinu, možemo izračunati luk (001) : (111) po formuli (001) : (111) = (001) : (110) - (111) : (110) i tako dolazimo do trokuta (001), (101), (111) (sl. 456.), u kom ćemo naći stranicu (001) : (101) = α, pa ćemo odrediti c : b po formuli:

$$\frac{c}{b} = \frac{a}{b} \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin (\alpha + \beta)} \quad (\text{vidi st. 198.}).$$

Primjer: Na kristalu gipsa mjerili smo (110) : (110) = 68° 30', (111) : (111) = 36° 12' i (111) : (110) = 49° 9' 30''. U kosokutnom sfernom trokutu (111), (110), (010) (sl. 455.) poznamo stranicu a = 90° - 34° 15' = 55° 45', b = 49° 9' 30'', c = 90° - 18° 6' = 71° 54'; izračunat ćemo kut kod (110) γ po formuli:



Sl. 455.

$$\operatorname{tg} \frac{\gamma}{2} = \sqrt{\frac{\sin(s-a) \cdot \sin(s-b)}{\sin s \cdot \sin(s-c)}}$$

gdje je  $s = \frac{a+b+c}{2}$ . U našem je slučaju  $s = 83^{\circ} 24' 15''$ ,  $s-a = 32^{\circ} 39' 15''$ ,  $s-b = 39^{\circ} 14' 45''$ ,  $s-c = 16^{\circ} 30' 15''$ ; dakle je:

$$\operatorname{tg} \frac{\gamma}{2} = \sqrt{\frac{\sin 32^{\circ} 39' 15'' \cdot \sin 39^{\circ} 14' 45''}{\sin 88^{\circ} 24' 15'' \cdot \sin 16^{\circ} 30' 15''}}$$

log sin 32° 39' 15" = 9.73205	log sin 88° 24' 15" = 9.99983
log sin 39° 14' 45" = 9.80116	log sin 16° 30' 15" = 9.45345
9.53321	9.45328
- 9.45328	

$$0.07993 : 2 = 0.03996$$

$$\log \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2} = 0.03996$$

$$\frac{\gamma}{2} = 47^{\circ} 37' 56''$$

$$\gamma = 95^{\circ} 15' 52''$$

Sad ćemo riješiti sferni pravokutni trokut (001), (100), (110) (sl. 453.), u kom poznamo stranicu (100):(110) =  $34^{\circ} 15' = c$  i kut kod (110) B =  $180^{\circ} - \gamma = 84^{\circ} 44' 8''$ . Stranica b u tom trokutu dat će vrijednost za osni kut  $\beta$ :

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} b(001):(100) &= \sin c(100):(110) \cdot \operatorname{tg} B(110) \\ \log \sin 34^{\circ} 15' &= 9.75036 \\ \log \operatorname{tg} 84^{\circ} 44' 8'' &= 1.03555 \\ \log \operatorname{tg} (001):(100) &= 0.78591 \\ (001):(100) &= 80^{\circ} 42' 8'' \\ \beta = (001):(\bar{1}00) &= 99^{\circ} 17' 52''. \end{aligned}$$

Još ćemo izračunati u pomenutom trokutu kut C (001), čija tg daje a:b; dakle:

$$\begin{aligned} \cos C &= \cos c \cdot \sin B \\ \log \cos 34^{\circ} 15' &= 9.91729 \\ \log \sin 84^{\circ} 44' 8'' &= 9.99816 \\ \log \cos C(001) &= 9.91545 \\ C(001) &= 34^{\circ} 36' 13'' \\ \log \operatorname{tg} 34^{\circ} 36' 13'' &= 9.83882 \\ \operatorname{tg} 34^{\circ} 36' 13'' &= 0.6899 = a:b. \end{aligned}$$

Možemo u istom trokutu izračunati i hipotenuzu a (001):(110) po formuli:

$$\begin{aligned} \operatorname{cotg} a &= \operatorname{cotg} c \cdot \cos B \\ \log \operatorname{cotg} 34^{\circ} 15' &= 0.16693 \\ + \log \cos 84^{\circ} 44' 8'' &= 8.96262 \\ \log \operatorname{cotg} a(001):(110) &= 9.12955 \\ (001):(110) &= 82^{\circ} 19' 31''. \end{aligned}$$

Odbijemo li od toga mjerenu stranicu (111):(110) =  $49^{\circ} 9' 30''$ , dobit ćemo luk (001):(111) =  $33^{\circ} 10' 1''$ .

Sad ćemo začeti u sferni pravokutni trokut (001), (101), (111) (sl. 456.), u kom poznamo stranicu a (001):(111) =  $33^{\circ} 10' 1''$  i kut kod C (001) =  $34^{\circ} 36' 13''$ , a izračunat ćemo stranicu b (001):(101); dakle:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} (001):(101) &= \operatorname{tg} a \cdot \cos C \\ \log \operatorname{tg} 33^{\circ} 10' 1'' &= 9.81528 \\ \log \cos 34^{\circ} 36' 13'' &= 9.91545 \\ \log \operatorname{tg} (001):(101) &= 9.73073 \\ (001):(101) &= 28^{\circ} 16' 38''. \end{aligned}$$

Pomoću veličine (001):(101), koju ćemo označiti sa  $\alpha$ , naći ćemo  $\frac{c}{b}$  po formuli:

$$\frac{c}{b} = \frac{a}{b} \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha + \beta)}$$

$$\begin{aligned} \alpha &= 28^{\circ} 16' 38'' \\ + \beta &= 99^{\circ} 17' 52'' \\ \alpha + \beta &= 127^{\circ} 34' 30'' \end{aligned}$$

$$\frac{c}{b} = 0.6899 \cdot \frac{\sin 28^{\circ} 16' 38''}{\sin 127^{\circ} 34' 30''}$$

$$\log \frac{a}{b} = \log \operatorname{tg} 34^{\circ} 36' 13'' = 9.83882$$

$$+ \log \sin 28^{\circ} 16' 38'' = 9.67553$$

$$9.51435$$

$$- \log \sin 127^{\circ} 34' 30'' = 9.89903$$

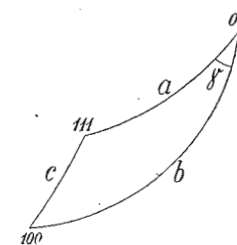
$$\log \frac{c}{b} = 9.61532$$

$$c:b = 0.4124.$$

Prema tome su kristalni elementi gipsa: osni kut  $\beta = (001):(\bar{1}00) = 99^{\circ} 17' 52''$ , osni odnos  $a:b:c = 0.6899:1:0.4124$ .

Kristalne elemente možemo izračunati jednostavnije, ako se samo osim pomenutih ploha razvila još i ploha (001). U tom ćemo slučaju mjeriti (110):(001) i (110):(110), pa iz tih mjerenja kao pod c) odrediti osni kut  $\beta$ . Omjer c:b odredit ćemo iz trokuta (001), (101), (111) izmjerivši kut (001):(111) kao pod e).

f) Neka su se na kristalu razvila sva tri pinakoida (001), (100) i (010), zatim ploha (111) ili ( $\bar{1}11$ ). Mjerenje (100):(001) daje osni kut  $\beta$  po formuli  $\beta = 180^{\circ} - (001):(100)$ . Osni odnos naći ćemo mjerenjem kutova, što ih čini ploha (111) sa dva od pomenutih pinakoida. Ako su na pr. mjereni kutovi (111):(100) i (111):(010), to su oni stranice kosokutnoga sfernoga trokuta (100), (111), (010), kome je treća stranica (100):(010) =  $90^{\circ}$  (sl. 457.). Budući da poznamo sve tri stranice, možemo izračunati kut kod (010), koji je jednak luku (101):(100). Poslužiti ćemo se još trokutom (001), (101), (111), u kom je poznata stranica (001):(101) = (001):(100) - (101):(100) i (101):(111) =  $90^{\circ} - (111):(010)$ ; izračuna se kut kod (001), koji u tg daje a:b. Da nadujemo c:b, poslužiti ćemo se pravokutnim sfernim trokutom (101), (100), (111), u kom poznamo luk (101):(100) i luk (101):(111); izračunat ćemo kut kod (100), koji u tg daje c:b.



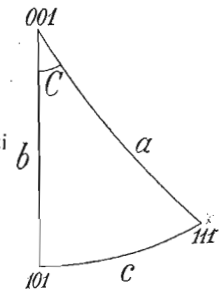
Sl. 457.

Primjer: Na gipsovu kristalu mjereno je (100):(001) =  $80^{\circ} 42' 10''$ , (111):(100) =  $54^{\circ} 34' 30''$  i (111):(010) =  $71^{\circ} 54'$ ; neka se odrede kristalni elementi gipsa.

$$\begin{aligned} \text{Osni kut } \beta &= 180^{\circ} - (100):(001) = 180^{\circ} - 80^{\circ} 42' 10'' \\ &= 99^{\circ} 17' 50''. \end{aligned}$$

U kosom sfernom trokutu (111), (100), (010) (sl. 457.), poznamo sve tri stranice i to a i c iz mjerenja, a  $b = 90^{\circ}$ ; izračunat ćemo kut  $\gamma$ , koji je jednak luku (101):(100); dakle:

$$\operatorname{tg} \frac{\gamma}{2} = \sqrt{\frac{\sin(s-a) \cdot \sin(s-b)}{\sin s \cdot \sin(s-c)}}$$



Sl. 456.

gdje je  $s = \frac{a+b+c}{2}$ . U našem je slučaju  $s = 108^\circ 14' 15''$ ,  $s - a = 36^\circ 20' 15''$ ,  $s - b = 18^\circ 14' 15''$ ,  $s - c = 53^\circ 39' 45''$ ; prema tome je:

$$\operatorname{tg} \frac{\gamma}{2} = \sqrt{\frac{\sin 36^\circ 20' 15'' \cdot \sin 18^\circ 14' 15''}{\sin 108^\circ 14' 15'' \cdot \sin 53^\circ 39' 45''}}$$

$$\begin{array}{r} \log \sin 36^\circ 20' 15'' = 9.77272 \\ \log \sin 18^\circ 14' 15'' = 9.49548 \\ \hline 9.26820 \\ - 9.88371 \\ \hline 9.38449 : 2 \end{array} \quad \begin{array}{r} \log \sin 108^\circ 14' 15'' = 9.97762 \\ \log \sin 53^\circ 39' 45'' = 9.90609 \\ \hline 9.88371 \end{array}$$

$$\log \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2} = 9.69225$$

$$\frac{\gamma}{2} = 26^\circ 12' 43''$$

$$\gamma = (101) : (100) = 52^\circ 25' 26''.$$

Omjer  $a : b$  naći ćemo rješenjem pravokutnog sfernog trokuta (001), (101), (111) (sl. 456.), u kom poznamo dvije stranice, (001):(101) = (001):(100) - (101):(100) =  $28^\circ 16' 44''$  i (101):(111) =  $90^\circ - (111):(010) = 18^\circ 6'$ ; možemo dakle naći  $\operatorname{tg} C$  (001), koja daje  $a : b$ ; dakle:

$$\operatorname{tg} C (001) = \frac{\operatorname{tg} c}{\sin b} = \frac{\operatorname{tg} 18^\circ 6'}{\sin 28^\circ 16' 44''}$$

$$\begin{array}{r} \log \operatorname{tg} 18^\circ 6' = 9.51435 \\ \log \sin 28^\circ 16' 44'' = 9.67556 \\ \hline \log \operatorname{tg} C (001) = 9.83879 \\ \operatorname{tg} C (001) = a : b = 0.6899. \end{array}$$

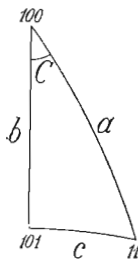
Omjer  $c : b$  naći ćemo rješenjem sfernoga pravokutnog trokuta (101), (100), (111) (sl. 458.), u kom poznamo stranicu (100):(101) =  $\gamma = 52^\circ 25' 26''$  i (101):(111) =  $18^\circ 6'$ ; naći ćemo  $\operatorname{tg} C$ , koja daje  $c : b$ ; dakle:

$$\operatorname{tg} C (100) = \frac{\operatorname{tg} c}{\sin b} = \frac{\operatorname{tg} 18^\circ 6'}{\sin 52^\circ 25' 26''}$$

$$\begin{array}{r} \log \operatorname{tg} 18^\circ 6' = 9.51435 \\ \log \sin 52^\circ 25' 26'' = 9.89902 \\ \hline \log \operatorname{tg} C (100) = 9.61533 \\ \operatorname{tg} C (100) = c : b = 0.4124. \end{array}$$

Prema tome su kristalni elementi gipsa: osni kut  $\beta = 99^\circ 17' 50''$ , osni odnos  $a : b : c = 0.6899 : 1 : 0.4124$ .

II. Izračunavanje kutova. Ako su kristalni elementi monoklinskog kristala tačno određeni, možemo iz njih izračunati kutove (101):(001), (100):(101) i (010):(111).



Sl. 458.

a) Kut (101):(001) nadje se po formuli  $\operatorname{tg} (101):(001) = \frac{c \cdot \sin (001):(100)}{a + c \cdot \cos (001):(100)}$ , koju

ćemo dobiti transformacijom iz formule  $\frac{c}{a} = \frac{\sin \alpha}{\sin (\alpha + \beta)}$ , gdje je  $\alpha = (101):(001)$ ,  $\beta = (001):(100)$ .

b) Kut (100):(101) dobije se iz kuta (101):(001) i iz osnoga kuta  $\beta$ . Kad znamo  $\beta = (001):(100)$ , znamo i (001):(100), jer je (001):(100) =  $180^\circ - \beta$ ; kut (100):(101) nadje se po formuli (100):(101) = (001):(100) - (001):(101).

c) Kut (010):(111) nadje se iz sfernog pravokutnog trokuta (001), (101), (111), u kom poznamo stranicu (001):(101) i kut kod (001), jer je njegova  $\operatorname{tg} = \frac{a}{b}$ ; možemo dakle izračunati stranicu (111):(101), a iz nje dobijemo po ovoj formuli: (111):(010) =  $90^\circ - (101):(111)$ .

Primjer: Poznati su kristalni elementi piroksena  $\beta = 105^\circ 49' 51''$ ,  $a : b : c = 1.09213 : 1 : 0.58932$ , neka se nadju kutovi (001):(101), (100):(101) i (111):(010).

$$\text{a) } \operatorname{tg} (001):(101) = \frac{0.58932 \cdot \sin 74^\circ 10' 9''}{1.09213 + 0.58932 \cdot \cos 74^\circ 10' 9''} = \frac{179^\circ 59' 60''}{74^\circ 10' 9''}$$

Izračunat ćemo najprije vrijednost nazivnika:

$$\begin{array}{r} \log 0.58932 = 9.77035 \\ + \log \cos 74^\circ 10' 9'' = 9.43584 \\ \hline 9.20619; \end{array}$$

tome odgovara numerus 0.16076; imamo dakle:

$$\operatorname{tg} (001):(101) = \frac{0.58932 \cdot \sin 74^\circ 10' 9''}{1.09213 + 0.16076} = \frac{0.58932 \cdot \sin 74^\circ 10' 9''}{1.25289}$$

$$\begin{array}{r} \log 0.58932 = 9.77035 \\ + \log \sin 74^\circ 10' 9'' = 9.98321 \\ \hline 9.75356 \\ - \log 1.25289 = 0.09791 \\ \hline \log \operatorname{tg} (001):(101) = 9.65565 \\ (001):(101) = 24^\circ 20' 54''. \end{array}$$

$$\text{b) } (100):(101) = (001):(100) - (001):(101) = 74^\circ 10' 9'' - 24^\circ 20' 54'' = 49^\circ 49' 15''.$$

c) U trokutu (001), (101), (111) (sl. 456.) poznata je stranica  $b = (001):(101) = 24^\circ 20' 54''$  i  $\operatorname{tg} C (001) = a : b = 1.09213$ ; stranicu  $c = (101):(111)$  naći ćemo po formuli:

$$\operatorname{tg} c = \sin b \cdot \operatorname{tg} C$$

$$\begin{array}{r} \log \sin b (001):(101) = 9.61519 \\ + \log \operatorname{tg} C (001) = 0.03827 \\ \hline \log \operatorname{tg} c (101):(111) = 9.65346 \\ (101):(111) = 24^\circ 14' 23'' \\ 89^\circ 59' 60'' \\ \hline 24^\circ 14' 23'' \\ (111):(010) = 65^\circ 45' 37''. \end{array}$$

III. Izračunavanje indeksa. a) Iz napomenuta tri kuta mogu se odrediti indeksi koje god plohe (hkl), ako je samo mjerjen kut plohe (hkl) prema plohi (010), t. j. kut (hkl):(010) i kut ortodome (h0l), koja otupljuje ovršni brid piramide (hkl) prema (100), dakle kut (h0l):(100) i to po ovim formulama:

$$1) \frac{h}{i} = \frac{\sin (100):(101)}{\sin (101):(001)} \cdot \frac{\sin [(100):(001) - (100):(h0l)]}{\sin (100):(h0l)}$$

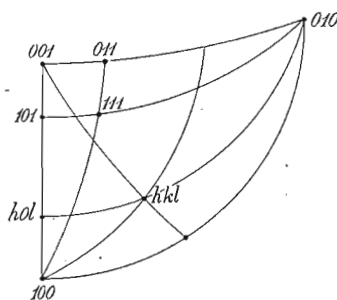
$$2) \frac{k}{i} = \frac{\sin (100):(101)}{\sin (100):(h0l)} \cdot \frac{\operatorname{tg} (111):(010)}{\operatorname{tg} (hkl):(010)}$$

Primjer: Mjeren je kod piroksena (100):(h0l) =  $21^\circ 35' 23''$  i (hkl):(hkl) =  $46^\circ 53' 30''$ ; kakav je (hkl)?

Iz mjerenih kutova naći ćemo najprije luk (hkl):(010):

$$\begin{array}{r} (hkl):(hkl) = 46^\circ 53' 30'', (hkl):(h0l) = 23^\circ 26' 45'' \\ 89^\circ 59' 60'' \\ \hline - 23^\circ 26' 45'' \end{array}$$

$$(hkl):(010) = 66^\circ 33' 15''$$



Sl. 459.

Iz formule (1) slijedi:

$$\frac{h}{l} = \frac{\sin 49^\circ 49' 15''}{\sin 24^\circ 20' 54''} \cdot \frac{\sin 52^\circ 34' 46''}{\sin 21^\circ 35' 23''} \quad \begin{array}{l} (001):(100) = 74^\circ 10' 9'' \\ -(100):(h0l) = 21^\circ 34' 46'' \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \log \sin 49^\circ 49' 15'' = 9.88311 \\ \log \sin 52^\circ 34' 46'' = 9.89993 \\ \hline 9.78304 \\ - 9.18099 \\ \hline \log \frac{h}{l} = 0.60205 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \log \sin 24^\circ 20' 54'' = 9.61519 \\ \log \sin 21^\circ 35' 23'' = 9.56580 \\ \hline 52^\circ 34' 46'' \\ \log \sin 52^\circ 34' 46'' = 9.89993 \\ \hline 9.18099 \end{array}$$

$$\log \frac{h}{l} = 0.60205$$

$$\frac{h}{l} = 4.$$

Indeks  $\frac{k}{l}$  naći ćemo po formuli (2):

$$\frac{k}{l} = \frac{\sin 49^\circ 49' 15''}{\sin 21^\circ 35' 23''} \cdot \frac{\operatorname{tg} 65^\circ 45' 37''}{\operatorname{tg} 66^\circ 33' 15''}$$

$$\begin{array}{r} \log \sin 49^\circ 49' 15'' = 9.88311 \\ + \log \operatorname{tg} 65^\circ 45' 37'' = 0.34654 \\ \hline 0.22965 \\ - 9.92862 \\ \hline \log \frac{k}{l} = 0.30103 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \log \sin 21^\circ 35' 23'' = 9.56580 \\ + \log \operatorname{tg} 66^\circ 33' 15'' = 0.36282 \\ \hline 9.92862 \end{array}$$

$$\log \frac{k}{l} = 0.30103$$

$$\frac{k}{l} = 2.$$

Prema tome je traženi znak piramide  $\{hkl\} = \{421\}$ .

b) Ako je mjereno kut plohe  $\{hkl\}$  prema dva od tri pinakoida, na pr. 1.)  $\{hkl\} : (100)$  i  $\{hkl\} : (001)$ , ili 2.)  $\{hkl\} : (100)$  i  $\{hkl\} : (010)$ , ili 3.)  $\{hkl\} : (001)$  i  $\{hkl\} : (010)$ , to mjereni lukovi čine po dvije stranice sfernoga kosokutnoga trokuta, u kome je treća stranica poznata i to u slučaju 2.) i 3.) jednaka je  $90^\circ$ , a u slučaju 1.) jednaka je luku  $\{001\} : (100) = 180^\circ - \beta$ .

1.) Neka je mjereno kut  $\{hkl\} : (100)$  i  $\{hkl\} : (001)$ . U sfernom kosokutnom trokutu (sl. 459.)  $\{hkl\}$ ,  $(100)$ ,  $(001)$  izračunat ćemo kut kod  $(100)$ ; zatim ćemo riješiti pravokutni sferni trokut  $(100)$ ,  $\{h0l\}$ ,  $\{hkl\}$  (sl. 460.), u kom je poznata mjerena stranica  $(100) : \{hkl\}$  i kut kod  $(100)$ , jer je to isti kut kao i kut u trokutu  $\{hkl\}$ ,  $(100)$ ,  $(001)$ , koji smo izračunali; možemo dakle izračunati stranicu  $b$   $(100) : \{h0l\}$  i stranicu  $\{h0l\} : \{hkl\}$ . Iz stranice  $\{h0l\} : \{hkl\}$  možemo naći  $\{hkl\} : (010)$  po formuli:

$$\{hkl\} : (010) = 90^\circ - \{h0l\} : \{hkl\}.$$

Pošto sada znamo  $\{h0l\} : (100)$  i  $\{hkl\} : (010)$ , možemo po formulama (1) i (2) odrediti znak  $\{hkl\}$ .

2.) Neka je mjereno kut  $\{hkl\} : (100)$  i  $\{hkl\} : (010)$ . U sfernom kosokutnom trokutu  $\{hkl\}$ ,  $(100)$ ,  $(010)$  (sl. 459.), izračunat ćemo kut kod  $(010)$ ; taj je jednak luku  $\{h0l\} : (100)$ . Mjerenjem smo dobili vrijednost za  $\{hkl\} : (010)$ , a izračunali smo  $\{h0l\} : (100)$ , pa se možemo sada poslužiti formulama (1) i (2), po kojima ćemo odrediti znak  $\{hkl\}$ .

3.) Neka je mjereno kut  $\{hkl\} : (001)$  i  $\{hkl\} : (010)$ . U sfernom kosokutnom trokutu  $\{hkl\}$ ,  $(001)$ ,  $(010)$  (sl. 459.), izračunat ćemo kut kod  $(010)$ ; taj je kut jednak luku  $\{001\} : \{h0l\}$ , pa iz njega možemo izračunati kut  $(100) : \{h0l\}$  po formuli:

$$(100) : \{h0l\} = (100) : (001) - \{001\} : \{h0l\}.$$

Stranicu  $\{hkl\} : (010)$  poznamo, jer smo je mjerili; možemo dakle i u tom slučaju da se poslužimo formulama (1) i (2), koje će nam dati znak  $\{hkl\}$ .

IV. Izračunavanje kutova iz zadatoga znaka. Poznat je znak  $\{hkl\}$ ; neka se nadju kutovi plohe  $\{hkl\}$ . Ortodoma  $\{h0l\}$  otupljuje ovršni brid piramide  $\{hkl\} : \{h\bar{k}l\}$ ; kut  $\{hkl\} : \{h\bar{k}l\}$  naći ćemo po formuli:

$$\operatorname{tg} \left[ (100) : \{h0l\} - \frac{1}{2} (100) : (001) \right] = \operatorname{tg} \frac{1}{2} (100) : (001) \cdot \operatorname{tg}(45^\circ - x),$$

$$\text{gdje je } \operatorname{tg} x = \frac{h}{l} \cdot \frac{\sin (101) : (001)}{\sin (101) : (100)}.$$

Poznavajući kut  $(100) : \{h0l\}$  možemo izračunati kutove plohe  $\{hkl\}$  prema tri pinakoida po ovim formulama:

$$(a) \quad \operatorname{tg} \{hkl\} : (010) = \frac{1}{k} \cdot \frac{\sin (100) : (101)}{\sin (100) : \{h0l\}} \cdot \operatorname{tg} (111) : (010);$$

$$(b) \quad \cos \{hkl\} : (100) = \sin \{hkl\} : (010) \cdot \cos (100) : \{h0l\};$$

$$(c) \quad \cos \{hkl\} : (001) = \sin \{hkl\} : (010) \cdot \cos (001) : \{h0l\}.$$

Sad možemo izračunati ovršni kut piramide  $\{hkl\} : \{h\bar{k}l\}$ . Po formuli (a) nadje se  $\{hkl\} : (010)$  i odbije od  $90^\circ$ , pa dobijemo  $\{hkl\} : \{h0l\}$ , jer je:

$$\{hkl\} : \{h0l\} = 90^\circ - \{hkl\} : (010).$$

Uzmemo li kut  $\{hkl\} : \{h0l\}$  dvostruko, dobit ćemo  $\{hkl\} : \{h\bar{k}l\}$ .

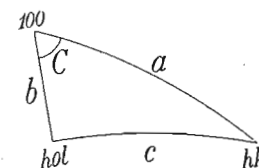
Gornje se formule (a), (b) i (c) mogu upotrijebiti i za izračunavanje kutova  $(100) : (101)$ ,  $(101) : (001)$  i  $(111) : (010)$ , ako poznamo kutove neke plohe sa poznatim indeksima  $\{hkl\}$  prema pinakoidima. U tu se svrhu iz formula (b) i (c) izračuna  $(100) : \{h0l\}$  i  $(001) : \{h0l\}$ , što se može lako učiniti, jer nam je poznat  $\{hkl\} : (001)$ ,  $\{hkl\} : (100)$  i  $\{hkl\} : (010)$ . Zbroj  $(100) : \{h0l\} + (001) : \{h0l\} = (001) : (100)$ . Sad se može izračunati  $(100) : (101)$  po ovoj formuli:

$$\operatorname{tg} \left[ (100) : (101) - \frac{1}{2} (100) : (001) \right] = \operatorname{tg} \frac{1}{2} (100) : (001) \cdot \operatorname{tg}(45^\circ - y),$$

$$\text{gdje je } \operatorname{tg} y = \frac{h}{l} \cdot \frac{\sin (001) : \{h0l\}}{\sin (100) : \{h0l\}}.$$

Pošto znamo  $(100) : (101)$ , znamo i  $(001) : (101)$ , jer je  $(001) : (101) = (001) : (100) - (101) : (100)$ . Kut  $(111) : (010)$  nadje se po formuli (a).

Primjer: Neka se kod piroksena izračuna angularna pozicija plohe  $\{461\}$ . Treba izračunati najprije kut  $(100) : \{401\}$  po formuli:



Sl. 460.

$$\operatorname{tg} [(100) : (401) - \frac{1}{2}(100) : (001)] = \operatorname{tg} \frac{1}{2} (100) : (001) \cdot \operatorname{tg} (45^\circ - x)$$

$$\operatorname{tg} [(100) : (401) - 37^\circ 5' 5''] = \operatorname{tg} 37^\circ 5' 5'' \cdot \operatorname{tg} (45^\circ - x),$$

$$\text{gdje je } \operatorname{tg} x = \frac{4}{1} \cdot \frac{\sin 24^\circ 20' 54''}{\sin 49^\circ 49' 15''}$$

$$\log 4 = 0.60206$$

$$\log \sin 24^\circ 20' 54'' = 9.61519$$

$$0.21725$$

$$- \log \sin 49^\circ 49' 15'' = 9.88311$$

$$\log \operatorname{tg} x = 0.33414$$

$$x = 65^\circ 8' 30''$$

$$45^\circ - x = 45^\circ - 65^\circ 8' 30'' = -20^\circ 8' 30''; \text{ dakle je:}$$

$$\operatorname{tg} [(100) : (401) - 37^\circ 5' 5''] = \operatorname{tg} 37^\circ 5' 5'' \cdot \operatorname{tg} (-20^\circ 8' 30'')$$

$$\log \operatorname{tg} 37^\circ 5' 5'' = 9.87845$$

$$+ \log \operatorname{tg} 20^\circ 8' 30'' = 9.56440$$

$$\log \operatorname{tg} [37^\circ 5' 5'' - (100) : (401)] = 9.44285$$

$$(100) : (401) = 21^\circ 35' 23''.$$

Vrijednost za  $(461) : (010)$  izračunat ćemo sada po formuli:

$$\operatorname{tg} (461) : (010) = \frac{1}{6} \cdot \frac{\sin 49^\circ 49' 15''}{\sin 21^\circ 35' 23''} \cdot \operatorname{tg} 65^\circ 45' 37''$$

$$\log \sin 49^\circ 49' 15'' = 9.88311$$

$$+ \log \operatorname{tg} 65^\circ 45' 37'' = 0.34654$$

$$0.22965$$

$$\log 6 = 0.77815$$

$$+ \log \sin 21^\circ 35' 23'' = 9.56580$$

$$0.34395$$

$$0.22965$$

$$- 0.34395$$

$$\log \operatorname{tg} (461) : (010) = 9.88570$$

$$(461) : (010) = 37^\circ 32' 44''.$$

Ako odbijemo  $(461) : (010)$  od  $90^\circ$ , dobit ćemo  $(461) : (401)$ , a to je polovica kuta  $(461) : (4\bar{6}1)$ ; dakle:

$$(461) : (401) = 90^\circ - (461) : (010) = 90^\circ - 37^\circ 32' 44'' = 52^\circ 27' 16''$$

$$(461) : (4\bar{6}1) = 104^\circ 54' 32''.$$

Kut  $(461) : (100)$  izračunat ćemo po formuli:

$$\cos (461) : (100) = \sin 37^\circ 32' 44'' \cdot \cos 21^\circ 35' 23''$$

$$\log \sin 37^\circ 32' 44'' = 9.78490$$

$$\log \cos 21^\circ 35' 23'' = 9.96841$$

$$\log \cos (461) : (100) = 9.75331$$

$$(461) : (100) = 55^\circ 29'.$$

Kut  $(461) : (001)$  izračunat ćemo po formuli:

$$\cos (461) : (001) = \sin (461) : (010) \cdot \cos (001) : (401)$$

$$\cos (461) : (001) = \sin 37^\circ 32' 44'' \cdot \cos 52^\circ 34' 46''$$

$$\log \sin 37^\circ 32' 44'' = 9.78490$$

$$+ \log \cos 52^\circ 34' 46'' = 9.78366$$

$$\log \cos (461) : (001) = 9.56856$$

$$(001) : (100) = 74^\circ 10' 9''$$

$$- (100) : (401) = 21^\circ 35' 23''$$

$$(001) : (401) = 52^\circ 34' 46''$$

$$(461) : (001) = 68^\circ 15' 57''.$$

S' ova tri kuta:

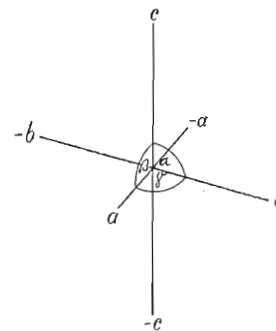
$$(461) : (010) = 37^\circ 32' 44''$$

$$(461) : (100) = 55^\circ 29'$$

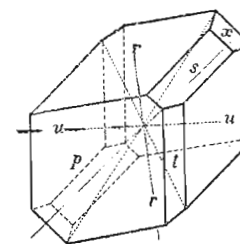
$$(461) : (001) = 68^\circ 15' 57''$$

položaj je plohe ili njena angularna pozicija potpuno određena.

**43. Triklnski sustav** možemo izvesti iz monoklinskoga sustava tako, da os  $b$ , ortoos, koja je horizontalna i okomita na os  $a$  i os  $c$ , zauzme također kos položaj. Prema tome triklnski sustav ima tri međusobno nagnute osi, koje su različite dužine (sl. 461.); koju god od njih možemo uzeti kao glavnu os; nju onda postavljamo vertikalno i označujemo, kao obično slovom  $c$ . Druge dvije osi položene su tako, da se duža os pruža popreko spuštajući se s lijeva na desno; tu os zovemo, kao i u rompskom sustavu, makroos i bilježimo je slovom  $b$ ; kraća os uzdiže se zaokrenuvši se malo s desna na lijevo; tu os zovemo, kao i u rompskom sustavu, brachios i označujemo je slovom  $a$ . Jednu od ove tri osi (i to os  $b$ ) odabiramo kao jedinicu, a za druge dvije osi, za os  $a$  i os  $c$  tražimo odnos prema osi  $b$ . Da tačno odredimo neki triklnski kristal, moramo naći ne samo osni odnos  $a : b : c$  ili  $\frac{a}{b} : 1 : \frac{c}{b}$ , nego i veličinu triju osnih kutova  $\alpha, \beta, \gamma$ ; da tih pet kristalnih elemenata nadjemo, moramo obaviti na kristalu mjerenja od 5 različitih kutova (uglova).



Sl. 461.



Sl. 462.

**I. Holoedrija** (31. kristalni razred). Ako istražujemo simetrijska svojstva kristala holoedrije triklnskoga sustava, naći ćemo na njima samo centar simetrije; ravnina simetrije i os simetrije nije se u tim kristalima uopće ni razvila (sl. 462.).

Kao u svim kristalnim sustavima, tako i u triklnskom ima 7 vrsta forma; te su se forme razvile kao piramide, prizme, dome i pinakoidi, a zovemo ih istim imenima i jednako ih označujemo kao i u rompskom sustavu.



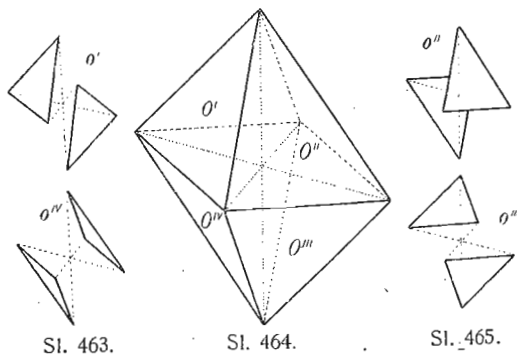
1. *Triklinske piramide* pojavljuju se sa ploham, od kojih su dvije i dvije (suprotne) iste vrste (sl. 464.). Zato triklinska piramida, kad se pojavljuje sa 8 ploha, nije jednostavna forma, nego kombinacija od 4 piramide; triklinska piramida raspada se dakle u četvrtine (*tetartopiramide*), od kojih svaka ima samo po dvije plohe, koje leže jedna suprot druge (u sl. 463., 464. i 465. plohe  $o'$ ,  $o''$ ,  $o'''$ ,  $o^{iv}$ ).

Kad odredjujemo kristale triklinskoga sustava, odabiramo jednu piramidu kao osnovnu formu, pa iz nje izvodimo sve ostale forme. Naumann označuje osnovnu triklinsku piramidu znakom  $P'$  ili  $P'$ ,  $P$ ,  $P$ ,  $i$ ,  $P$ , Weiss ( $a:b:c$ ). Millerov je znak najjednostavniji, jer se iz njega odmah razabira položaj svake pojedine piramide:

$$P' = \{111\} \text{ i } \{\bar{1}\bar{1}\bar{1}\}, \quad P = \{1\bar{1}\bar{1}\} \text{ i } \{\bar{1}1\bar{1}\}, \quad P = \{11\bar{1}\} \text{ i } \{\bar{1}\bar{1}1\}, \quad P = \{1\bar{1}1\} \text{ i } \{\bar{1}11\}.$$

Kao u rompskom isto tako i u triklinskom sustavu imamo piramide vertikalnoga niza  $m/P'$  ili  $mP'$ ,  $mP'$ ,  $mP$ ,  $mP$ , gdje se os  $c$  produljuje ili skraćuje, t. j. gdje piramide postaju šiljatije i tuplje. Ako je u kojoj  $m/P'$  postala makroos, os  $b$ ,  $n$ -puta veća, prešla je takva piramida u makropiramidu  $m/P'n$ ; ako je u kojoj piramidi  $m/P'n$  postala brahios, os  $a$ ,  $n$ -puta veća, prešla je takva piramida u brahipiramidu  $m/P'n$ . Millerovi znaci takvih piramida razabiru se iz ovih primjera:

$$\frac{1}{2}P' = \{112\}, \quad 2P' = \{2\bar{2}1\}, \quad \frac{1}{2}P'2 = \{2\bar{1}4\}, \quad P'3 = \{31\bar{3}\}, \quad 3P'3 = \{3\bar{1}\bar{1}\}, \\ P'3 = \{13\bar{3}\}, \quad P'4 = \{141\}.$$



Sl. 463.

Sl. 464.

Sl. 465.

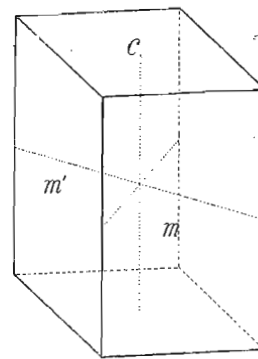
2. *Triklinske prizme* izvodimo iz piramida na jednaki način kao i u drugim sustavima, da glavna os postane neizmerno velika. Kod triklinskih prizma dvije i dvije suprotne plohe iste su vrste, dakle se te prizme raspadaju u *poluprizme* (*hemiprizme*) (u sl. 466. ploha  $m$  i  $m'$ ).

Iz vertikalnih piramida  $m/P'$ , razvit će se prizma  $\infty P' = \{110\}$  i  $\infty P = \{1\bar{1}0\}$ . Iz makropiramide  $m/P'n$  nastaje makroprizma  $\infty P'n$  i  $\infty P'n$ , iz brahipiramida  $m/P'n$  razvit će se brahiprizma  $\infty P'n$  i  $\infty P'n$ . Millerov je znak za te prizme na pr.  $\infty P'3 = \{310\}$  i  $\infty P'2 = \{1\bar{2}0\}$ .

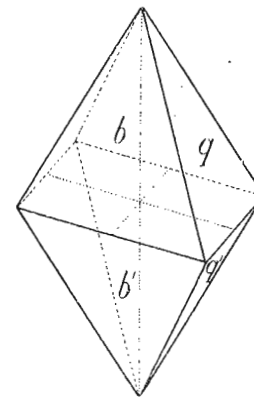
3. *Makrodome* raspadaju se takodjer u *poludome* (*hemidome*), jer se i ove razvijaju sa ploham, od kojih su dvije i dvije (suprotne) iste vrste.

Te dome postaju, kad u piramidi makroos postane neizmerno velika (u sl. 467. ploha  $b$  i  $b'$ ).

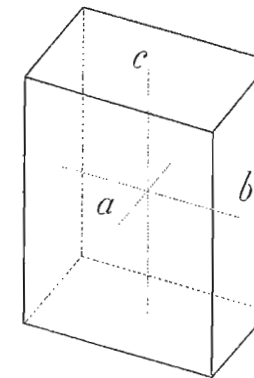
Znak makrodome, koja se nalazi sprijeda u gornja dva oktanta i ozada u donja dva oktanta, jest  $P'\infty = \{101\}$ , a one, koja se nalazi sprijeda u donja dva oktanta i ozada u gornja dva oktanta, jest  $P\infty = \{\bar{1}01\}$ . Općeniti je znak za makrohemidome  $m/P'\infty$  i  $m/P\infty$ . Millerov znak za te hemidome vidi se iz ovog primjera:  $\frac{2}{3}P\infty = \{203\}$ .



Sl. 466.



Sl. 467.



Sl. 468.

4. *Brahidome* razvijaju se takodjer sa ploham, od kojih su dvije i dvije (suprotne) iste vrste; i one se dakle raspadaju u poludome. Postaju iz piramida, kad os  $a$ , brahios, postane neizmerno velika (u sl. 467. ploha  $q$  i  $q'$ ).

Znak je za onu hemidomu, kojoj se plohe nalaze jedna gore desno, druga dolje lijevo,  $P'\infty = \{011\}$ , a za onu, kojoj se plohe nalaze jedna gore lijevo, druga dolje desno,  $P\infty = \{0\bar{1}1\}$ . Općeniti je znak za te hemidome  $m/P'\infty$  i  $m/P\infty$ . Millerov znak za brahiohemidome vidi se iz ovog primjera:  $2P'\infty = \{0\bar{2}1\}$ .

5. *Osnovni* ili *bazni pinakoid* jest, kao i u rompskome i monoklinskome sustavu, paralelan sa osi  $a$  i osi  $b$ , a os  $c$  siječe u nul (0) (u sl. 466. i 468. ploha  $c$ ); znak mu je dakle  $OP = (\infty a : \infty b : c) = \{001\}$ .

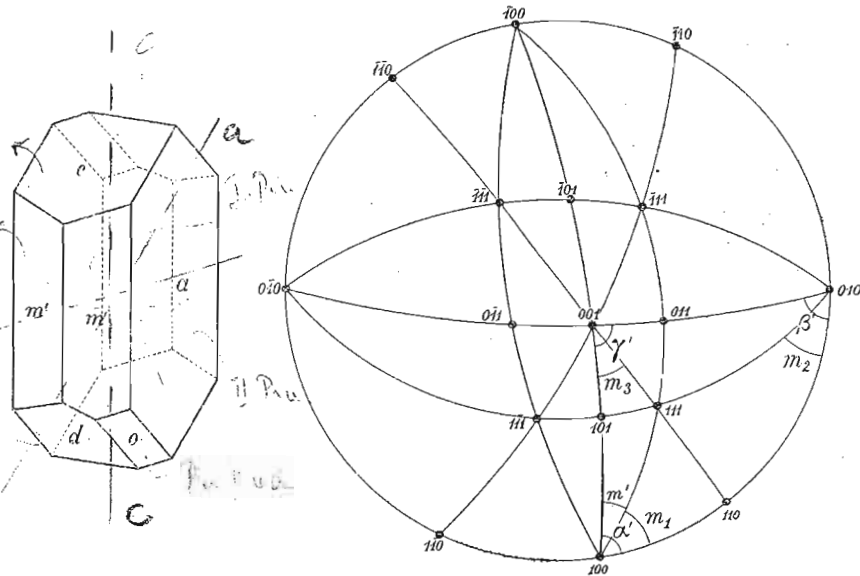
6. *Makropinakoid* je paralelan sa osi  $b$  i osi  $c$ , a os  $a$  siječe u 1 (u sl. 468. ploha  $a$ ); znak mu je  $\infty P\infty = (a : \infty b : \infty c) = \{100\}$ .

7. *Brahipinakoid* je paralelan sa osi  $a$  i sa osi  $c$ , a os  $b$  siječe u 1 (u sl. 468. ploha  $b$ ); znak mu je dakle  $\infty P'\infty = (\infty a : b : \infty c) = \{010\}$ .

Svaka od ovih 7 vrsta formi ima samo po dvije (suprotne) plohe; to su dakle otvorene forme i nikako ne mogu da dolaze svaka sama za sebe kao jednostavna forma, nego samo u kombinaciji.

Od minerala, koji se kristalizuju u ovom kristalnom razredu, spomenut ćemo glinence (feldšpate) (sl. 469.).

Iz stereografske projekcije (sl. 470.) razabiramo međusoban položaj formi triklinskoga sustava.



Sl. 469.

Sl. 470.

**II. Hemiedrija triklinskoga sustava** (32. kristalni razred) obuhvata triklinske forme, koje nemaju nikakova elementa simetrije. Te su forme asimetrijske, a postale su iz holodrije, da se je izgubio centar simetrije, koji je uzrokovao, da su se u holodriji razvile forme sa dvije paralelne suprotne plohe. Kako se izgubio centar simetrije, raspadaju se sve triklinske forme u likove sa jednom jedinom plohom, u pedione.

Od minerala nije ni jedan poznat, koji bi se kristalizovao u ovoj hemiedriji, a od vještačkih spojeva spomenut ćemo stroncijski bitartarat  $(C_4H_4O_6)_2SrH_2 \cdot 4H_2O$ .

Trikliniski sustav obuhvata dakle samo 2 kristalna razreda, 1 holodriju i 1 hemiedriju.

Od 565 tačno proučenih minerala kristalizuju se u triklinskom sustavu 36 i to svi u holodriji.

**Izračunavanje osnoga odnosa, kutova (uglova) i znakova kristalnih formi triklinskoga sustava.<sup>1)</sup>**

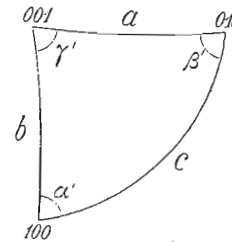
U triklinskom sustavu ne poznamo pet kristalnih elemenata: tri osna kuta,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  i osni odnos  $a:b:c$ ; moramo dakle obaviti pet mjerenja, ako želimo upoznati kri-

<sup>1)</sup> P. Groth; Physikalische Krystallographie. Vierte Auflage; pag. 602.

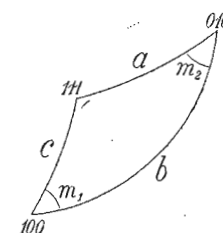
stalne elemente. Za ta mjerenja dosta je, ako su se na kristalu razvile četiri plohe, od kojih tri ne smiju ležati u jednoj zoni.

**I. Izračunavanje osnih kutova  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  i osnoga odnosa  $a:b:c$ .**

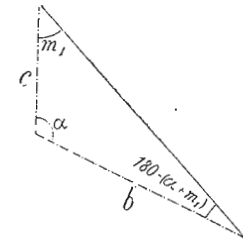
a) Najjednostavniji je slučaj, ako od četiri plohe pripadaju tri pinakoidima  $\{100\}$ ,  $\{001\}$ ,  $\{010\}$ , a četvrta osnovnoj piramidi  $\{111\}$  ili  $\{1\bar{1}1\}$  ili  $\{\bar{1}11\}$  ili  $\{\bar{1}\bar{1}1\}$ . Neka su mjereni kutovi između pojedinih pinakoida i kutovi, što ih čini piramida sa dva od tri pinakoida; na pr.  $(111):(100)$  i  $(111):(010)$ . U sfernom kosokutnom trokutu  $(001)$ ,  $(100)$ ,  $(010)$  (sl. 471.), u kom su poznate sve tri stranice, jer smo ih mjerili, dakle stranice  $(001):(100)$ ,  $(001):(010)$  i  $(100):(010)$ , treba naći kutove. Kut, koji leži kod  $(100)$  jest kut, što ga čine zonalni krugovi  $[001, 100] \equiv [010]$  i  $[010, 100] \equiv [001]$ ; označimo taj kut sa  $\alpha'$ . Kako kristalna os  $b$  stoji okomito na krugu  $[010]$ , a os  $c$  okomito na krugu  $[001]$ , to je  $\alpha = 180^\circ - \alpha'$  kut, što ga čine te dvije osi u gornjem desnom prednjem oktantu osnih ravnina. Jednako je  $\beta = 180^\circ - \beta'$  i  $\gamma = 180^\circ - \gamma'$ . Tako smo odredili osne kutove  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ .



Sl. 471.



Sl. 472.



Sl. 473.

Druga dva mjerenja dat će osni odnos  $a:b:c$  na ovaj način:

U sfernom kosokutnom trokutu  $(100)$ ,  $(010)$ ,  $(111)$  (sl. 472.), u kom su poznate sve tri stranice, jer su sve tri mjerene, izračunat ćemo kut kod  $(100) = m_1$ ; to je kut, pod kojim se sijeku bridovi, što ih čine plohe  $(100)$  i  $(111)$ , te plohe  $(100)$  i  $(010)$ ; on pripada ravnom trokutu, što ga čine osi  $b$  i  $c$  i brid ploha  $(100)$  i  $(111)$ .

Pošto je kut između osi  $b$  i  $c$  poznat ( $= \alpha$ ), možemo pisati (sl. 473.):

$$c:b = \frac{\sin [180^\circ - (\alpha + m_1)]}{\sin m_1} = \frac{\sin (\alpha + m_1)}{\sin m_1}$$

U istom sfernom trokutu (sl. 472.) izračunat ćemo još kut kod  $(010) = m_2$ , koji daje omjer  $a:c$  po formuli  $a:c = \frac{\sin m_2}{\sin (\beta + m_2)}$ . Omjer  $a:b$  dobit ćemo na taj način, da zadnju formulu pomnožimo sa formulom za  $c:b$ .

Slično bismo radili, kad bi osim tri pinakoidska kuta bili mjereni kutovi  $(111):(001)$  i  $(111):(100)$ ; zašli bismo u trokut  $(111)$ ,  $(001)$ ,  $(100)$ , u kom su iz mjerenja poznate sve tri stranice i izračunati kut kod  $(001) = m_3$ ; taj kut daje odnos  $a:b$  po formuli  $a:b = \frac{\sin m_3}{\sin (\gamma + m_3)}$ . Izračunali bismo i kut kod  $(100) = m'$  i odbili ga od kuta  $\alpha'$ . Ta razlika daje  $m_1$ , jer je (vidi sl. 470.)  $m_1 = \alpha' - m'$ ;  $m_1$  daje po poznatoj formuli  $c:b$ . Analogno bismo radili, kad bi mjesto kutova  $(111):(001)$  i  $(111):(100)$  bili mjereni kutovi  $(111):(001)$  i  $(111):(010)$ .

Primjer: Mjereni su kod anortita kutovi  $(001):(010) = 85^\circ 50'$ ,  $(001):(100) = 63^\circ 57'$ ,  $(100):(010) = 87^\circ 6'$ ,  $(111):(100) = 38^\circ 17'$  i  $(111):(010) = 68^\circ 51'$ ; neka se nadju kristalni elementi anortita.

U trokutu (001), (100), (010) (sl. 471.), u kom su poznate sve tri stranice, a (001): (010), b (001): (100), c (100): (010), izračunat ćemo osne kutove; dakle:

$$a(001):(010) = 85^{\circ} 50'$$

$$b(001):(100) = 63^{\circ} 57'$$

$$c(100):(010) = 87^{\circ} 6'$$

$$2s = 236^{\circ} 53'$$

$$s = 118^{\circ} 26' 30''$$

$$s - a = 32^{\circ} 36' 30''$$

$$s - b = 54^{\circ} 29' 30''$$

$$s - c = 31^{\circ} 20' 30''$$

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha'}{2} = \sqrt{\frac{\sin(s-b) \cdot \sin(s-c)}{\sin s \cdot \sin(s-a)}} = \sqrt{\frac{\sin 54^{\circ} 29' 30'' \cdot \sin 31^{\circ} 20' 30''}{\sin 118^{\circ} 26' 30'' \cdot \sin 32^{\circ} 36' 30''}}$$

$$\log \sin 54^{\circ} 29' 30'' = 9.91065$$

$$\log \sin 31^{\circ} 20' 30'' = 9.71612$$

$$9.62677$$

$$- 9.67564$$

$$9.95113 : 2 = 9.97557$$

$$\log \operatorname{tg} \frac{\alpha'}{2} = 9.97557$$

$$\frac{\alpha'}{2} = 43^{\circ} 23' 21''$$

$$\alpha' = 86^{\circ} 46' 42'';$$

$$\text{osni kut } \alpha = 180^{\circ} - \alpha' = 93^{\circ} 13' 18''.$$

$$\operatorname{tg} \frac{\beta'}{2} = \sqrt{\frac{\sin 32^{\circ} 36' 30'' \cdot \sin 31^{\circ} 20' 30''}{\sin 118^{\circ} 26' 30'' \cdot \sin 54^{\circ} 29' 30''}}$$

$$\log \sin 32^{\circ} 36' 30'' = 9.73150$$

$$\log \sin 31^{\circ} 20' 30'' = 9.71612$$

$$9.44762$$

$$- 9.85479$$

$$9.59283 : 2 = 9.79642$$

$$\log \operatorname{tg} \frac{\beta'}{2} = 9.79642$$

$$\frac{\beta'}{2} = 32^{\circ} 2' 15''$$

$$\beta' = 64^{\circ} 4' 30'';$$

$$\text{osni kut } \beta = 180^{\circ} - \beta' = 115^{\circ} 55' 30''.$$

$$\operatorname{tg} \frac{\gamma'}{2} = \sqrt{\frac{\sin 32^{\circ} 36' 30'' \cdot \sin 54^{\circ} 29' 30''}{\sin 118^{\circ} 26' 30'' \cdot \sin 31^{\circ} 20' 30''}}$$

$$\log \sin 32^{\circ} 36' 30'' = 9.73150$$

$$\log \sin 54^{\circ} 29' 30'' = 9.91065$$

$$9.64215$$

$$- 9.66026$$

$$9.98189 : 2 = 9.99095$$

$$\log \operatorname{tg} \frac{\gamma'}{2} = 9.99095$$

$$\frac{\gamma'}{2} = 44^{\circ} 24' 11''$$

$$\gamma' = 88^{\circ} 48' 22'';$$

$$\text{osni kut } \gamma = 180^{\circ} - \gamma' = 91^{\circ} 11' 38''.$$

Tako su nadjeni osni kutovi  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  kod anortita.

Da se nadje osni odnos  $a:b:c$ , riješit ćemo trokut (111), (100), (010), u kom su poznate (mjerjenjem) sve tri stranice (sl. 472.); dakle:

$$a(111):(010) = 68^{\circ} 51'$$

$$b(100):(010) = 87^{\circ} 6'$$

$$c(111):(100) = 38^{\circ} 17'$$

$$2s = 194^{\circ} 14'$$

$$s = 97^{\circ} 7'$$

$$s - a = 28^{\circ} 16'$$

$$s - b = 10^{\circ} 1'$$

$$s - c = 58^{\circ} 50'$$

$$\operatorname{tg} \frac{m_1}{2} = \sqrt{\frac{\sin(s-b) \cdot \sin(s-c)}{\sin s \cdot \sin(s-a)}} = \sqrt{\frac{\sin 10^{\circ} 1' \cdot \sin 58^{\circ} 50'}{\sin 97^{\circ} 7' \cdot \sin 28^{\circ} 16'}}$$

$$\log \sin 10^{\circ} 1' = 9.24039$$

$$\log \sin 58^{\circ} 50' = 9.93230$$

$$9.17269$$

$$- 9.67203$$

$$9.50066 : 2 = 9.75033$$

$$\log \operatorname{tg} \frac{m_1}{2} = 9.75033$$

$$\frac{m_1}{2} = 29^{\circ} 22' 10''$$

$$m_1 = 58^{\circ} 44' 20''.$$

$$c : b = \frac{\sin(\alpha + m_1)}{\sin m_1}$$

$$\alpha = 93^{\circ} 13' 18''$$

$$m_1 = 58^{\circ} 44' 20''$$

$$\alpha + m_1 = 151^{\circ} 57' 38''$$

$$\log \sin 151^{\circ} 57' 38'' = 9.67217$$

$$\log \sin 58^{\circ} 44' 20'' = 9.93187$$

$$\log(c : b) = 9.74030$$

$$c : b = 0.5499 = 0.550.$$

U trokutu (111), (100), (010) (sl. 472.) izračunat ćemo kut kod (010) =  $m_2$ ; dakle

$$\operatorname{tg} \frac{m_2}{2} = \sqrt{\frac{\sin 28^{\circ} 16' \cdot \sin 10^{\circ} 1'}{\sin 97^{\circ} 7' \cdot \sin 58^{\circ} 50'}}$$

$$\log \sin 28^{\circ} 16' = 9.67539$$

$$\log \sin 10^{\circ} 1' = 9.24039$$

$$8.91578$$

$$- 9.92894$$

$$8.98684 : 2 = 9.49342$$

$$\log \operatorname{tg} \frac{m_2}{2} = 9.49342$$

$$\frac{m_2}{2} = 17^{\circ} 18' 11''$$

$$m_2 = 34^{\circ} 36' 22'';$$

$$\log \sin 97^{\circ} 7' = 9.99664$$

$$\log \sin 58^{\circ} 50' = 9.93230$$

$$9.92894$$

$$a : c = \frac{\sin m_2}{\sin(\beta + m_2)}$$

$$\beta = 115^\circ 55' 30''$$

$$m_2 = 34^\circ 36' 2''$$

$$\beta + m_2 = 150^\circ 31' 32''$$

$$\log \sin 34^\circ 36' 2'' = 9.75424$$

$$\log \sin 150^\circ 31' 32'' = 9.69200$$

$$0.06224$$

$$a : c = 1.15407; \text{ prije smo našli, da je}$$

$$c : b = 0.550; \text{ pomnožimo li to dvoje, dobit ćemo:}$$

$$\frac{a}{c} \cdot \frac{c}{b} = 1.15407 \times 0.550, \text{ ili}$$

$$\frac{a}{b} = 1.15407 \times 0.550;$$

$$\log 1.15407 = 0.06224$$

$$\log 0.550 = 0.74036 - 1$$

$$\log \frac{a}{b} = 0.80250 - 1$$

$$a : b = 0.6346.$$

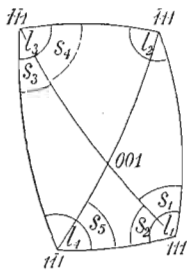
Prema tome anortit ima ove kristalne elemente :

$$a : b : c = 0.6346 : 1 : 0.550,$$

$$\alpha = 93^\circ 13' 18'', \quad \beta = 115^\circ 55' 30'', \quad \gamma = 91^\circ 11' 38''.$$

Ako se je mjesto plohe (111) razvila koja druga ploha osnovne piramide, naći ćemo kristalne elemente na analogan način. Tako ćemo osne kutove izračunati, ako se razvila na pr. ploha  $(\bar{1}\bar{1}1)$ , iz istoga trokuta kao i prije, dok će nam za izračunavanje osnoga odnosa služiti trokut  $(\bar{1}\bar{1}1)$ ,  $(\bar{1}00)$ ,  $(010)$ . Sličan je postupak, ako se je razvila ploha  $(\bar{1}\bar{1}1)$  ili  $(1\bar{1}1)$  mjesto (111).

b) Neka se nadju kristalni elementi, ako su se razvile četiri plohe osnovne piramide, t. j. (111),  $(\bar{1}\bar{1}1)$ ,  $(\bar{1}\bar{1}1)$  i  $(1\bar{1}1)$ . U tom slučaju izmjere se četiri stranice sfernoga četvorokuta (111),  $(\bar{1}\bar{1}1)$ ,  $(\bar{1}\bar{1}1)$ ,  $(1\bar{1}1)$  (sl. 474.) i jedna od njegovih dijagonala na pr.  $(111) : (\bar{1}\bar{1}1)$ . Pomoću oba trokuta (sl. 474.) (111),  $(\bar{1}\bar{1}1)$ ,  $(\bar{1}\bar{1}1)$  i (111),  $(\bar{1}\bar{1}1)$ ,  $(\bar{1}\bar{1}1)$  dađu se izračunati svi kutovi u sfernom četvorokutu te dijagonala  $(1\bar{1}1) : (\bar{1}\bar{1}1)$ , koja može poslužiti kod kontrolnoga izračunavanja.



Sl. 474.

Zamislimo lukove  $(1\bar{1}1) : (\bar{1}\bar{1}1)$  i  $(111) : (\bar{1}\bar{1}1)$  produljene srijeda: oni će se sjeći u (100) i tvoriti trokut (111),  $(1\bar{1}1)$ , (100), u komu su poznata dva kuta kao suplementi kutova u pomenutom sfernom četvorokutu; u tom je trokutu poznata još i mjerena stranica  $(111) : (\bar{1}\bar{1}1)$ , pa se može dakle potpuno riješiti.

Neka budu lukovi  $(111) : (\bar{1}\bar{1}1)$  i  $(\bar{1}\bar{1}1) : (\bar{1}\bar{1}1)$  produljeni na desno, oni će se sjeći u (010). Riješit ćemo trokut (111),  $(\bar{1}\bar{1}1)$ , (010), jer je u njem poznat kut kod (111), kut kod  $(\bar{1}\bar{1}1)$  i stranica  $(111) : (\bar{1}\bar{1}1)$ .

Iz ta dva trokuta izračunat ćemo lukove  $(111) : (100)$  i  $(111) : (010)$ . U trokutu (111), (100), (010), u kom poznamo dvije stranice  $(111) : (100)$ ,  $(111) : (010)$  i kut medju njima, izračunat ćemo luk  $(100) : (010)$ . Kako se položaj plohe (001) na zonalnom krugu  $[111, \bar{1}\bar{1}1]$  lako izračuna (na pr. iz trokuta (111),  $(1\bar{1}1)$ , (001), u kom je poznata stranica  $(111) : (\bar{1}\bar{1}1)$  i oba priležeća kuta), može se iz lukova  $(001) : (111)$ ,  $(111) : (100)$  i kuta medju njima izračunati luk  $(001) : (100)$ , a isto tako iz lukova  $(001) : (111)$ ,  $(111) : (010)$

i kuta medju njima luk  $(001) : (010)$ . Na taj su način određeni osni kutovi  $\alpha, \beta, \gamma$ , a sa dva od tri luka  $(001) : (111)$ ,  $(111) : (010)$ ,  $(111) : (100)$  izračuna se osni odnos  $a : b : c$  kao od a).

Primjer: Mjereni su kod aksinita kutovi  $(111) : (\bar{1}\bar{1}1) = 64^\circ 22'$ ,  $(111) : (\bar{1}\bar{1}1) = 55^\circ 9'$ ,  $(\bar{1}\bar{1}1) : (\bar{1}\bar{1}1) = 74^\circ 56'$ ,  $(\bar{1}\bar{1}1) : (\bar{1}\bar{1}1) = 64^\circ 18'$ ,  $(111) : (\bar{1}\bar{1}1) = 104^\circ 58'$ . U sfernom trokutu (111),  $(\bar{1}\bar{1}1)$ ,  $(\bar{1}\bar{1}1)$  (sl. 475.) izračunat ćemo sva tri njegova kuta, dakle :

$$a(111) : (\bar{1}\bar{1}1) = 104^\circ 58'$$

$$b(111) : (\bar{1}\bar{1}1) = 55^\circ 9'$$

$$c(\bar{1}\bar{1}1) : (\bar{1}\bar{1}1) = 74^\circ 56'$$

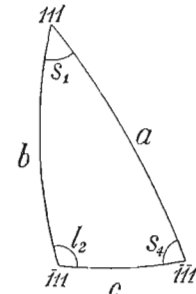
$$2s = 235^\circ 3'$$

$$s = 117^\circ 31' 30''$$

$$s - a = 12^\circ 33' 30''$$

$$s - b = 62^\circ 22' 30''$$

$$s - c = 42^\circ 35' 30''.$$



Sl. 475.

$$\operatorname{tg} \frac{s_1}{2} = \sqrt{\frac{\sin(s-a) \cdot \sin(s-b)}{\sin s \cdot \sin(s-c)}} = \sqrt{\frac{\sin 12^\circ 33' 30'' \cdot \sin 62^\circ 22' 30''}{\sin 117^\circ 31' 30'' \cdot \sin 42^\circ 35' 30''}}$$

$$\log \sin 12^\circ 33' 30'' = 9.3373264 \quad \log \sin 117^\circ 31' 30'' = 9.9478302$$

$$\log \sin 62^\circ 22' 30'' = 9.9174344 \quad \log \sin 42^\circ 35' 30'' = 9.8304404$$

$$9.2847608 \quad 9.7782706$$

$$-9.7782706 \quad 9.7782706$$

$$9.5064902 : 2 = 9.7532451$$

$$\log \operatorname{tg} \frac{s_1}{2} = 9.7532451$$

$$\frac{s_1}{2} = 29^\circ 32' 2.7''$$

$$s_1 = 59^\circ 4' 5.4''.$$

$$\operatorname{tg} \frac{s_4}{2} = \sqrt{\frac{\sin(s-a) \cdot \sin(s-c)}{\sin s \cdot \sin(s-b)}} = \sqrt{\frac{\sin 12^\circ 33' 30'' \cdot \sin 42^\circ 35' 30''}{\sin 117^\circ 31' 30'' \cdot \sin 62^\circ 22' 30''}}$$

$$\log \sin 12^\circ 33' 30'' = 9.3373264 \quad \log \sin 117^\circ 31' 30'' = 9.9478302$$

$$\log \sin 42^\circ 35' 30'' = 9.8304404 \quad \log \sin 62^\circ 22' 30'' = 9.9474344$$

$$9.1677668 \quad 9.8952646$$

$$-9.8952646 \quad 9.8952646$$

$$9.2725022 : 2 = 9.6362511$$

$$\log \operatorname{tg} \frac{s_4}{2} = 9.6362511$$

$$\frac{s_4}{2} = 23^\circ 24' 4.4''$$

$$s_4 = 46^\circ 48' 8.8''.$$

$$\operatorname{tg} \frac{l_2}{2} = \sqrt{\frac{\sin(s-b) \cdot \sin(s-c)}{\sin s \cdot \sin(s-a)}} = \sqrt{\frac{\sin 62^\circ 22' 30'' \cdot \sin 42^\circ 35' 30''}{\sin 117^\circ 31' 30'' \cdot \sin 12^\circ 33' 30''}}$$

$$\log \sin 62^\circ 22' 30'' = 9.9174344 \quad \log \sin 117^\circ 31' 30'' = 9.9478302$$

$$\log \sin 42^\circ 35' 30'' = 9.8301404 \quad \log \sin 12^\circ 33' 30'' = 9.3373264$$

$$9.7778748 \quad 9.2851566$$

$$-9.2851566 \quad 9.2851566$$

$$0.4927182 : 2 = 0.2463591$$

$$0.4927182 : 2 = 0.2463591$$

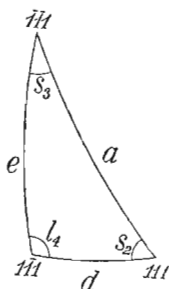
$$\log \operatorname{tg} \frac{l_2}{2} = 0.2463591$$

$$\frac{l_2}{2} = 60^\circ 26' 36.5''$$

$$l_2 = 120^\circ 53' 13''.$$

Treba izračunati još kutove u kosokutnom sfernom trokutu (111), (1 $\bar{1}$ 1), (1 $\bar{1}$ 1) (sl. 476.), u kom poznamo sve tri stranice (jer su mjerene):

$$\begin{aligned} a(111) : (1\bar{1}1) &= 104^\circ 58' \\ d(111) : (1\bar{1}1) &= 64^\circ 22' \\ e(111) : (1\bar{1}1) &= 64^\circ 18' \\ 2s &= 233^\circ 38' \\ s &= 116^\circ 49' \\ s - a &= 11^\circ 51' \\ s - d &= 52^\circ 27' \\ s - e &= 52^\circ 31'. \end{aligned}$$



Sl. 476.

$$\operatorname{tg} \frac{s_2}{2} = \sqrt{\frac{\sin(s-a) \cdot \sin(s-d)}{\sin s \cdot \sin(s-e)}} = \sqrt{\frac{\sin 11^\circ 51' \cdot \sin 52^\circ 27'}{\sin 116^\circ 49' \cdot \sin 52^\circ 31'}}$$

$$\begin{array}{r} \log \sin 11^\circ 51' = 9.3124951 \\ \log \sin 52^\circ 27' = 9.8991756 \\ \hline 9.2116707 \\ - 9.8501497 \\ \hline 9.3615210 : 2 = 9.6807605 \\ \log \operatorname{tg} \frac{s_2}{2} = 9.6807605 \end{array}$$

$$\log \operatorname{tg} \frac{s_2}{2} = 9.6807605$$

$$\frac{s_2}{2} = 25^\circ 36' 58.5''$$

$$s_2 = 51^\circ 13' 57''.$$

$$\operatorname{tg} \frac{s_3}{2} = \sqrt{\frac{\sin(s-a) \cdot \sin(s-e)}{\sin s \cdot \sin(s-d)}} = \sqrt{\frac{\sin 11^\circ 51' \cdot \sin 52^\circ 31'}{\sin 116^\circ 49' \cdot \sin 52^\circ 27'}}$$

$$\begin{array}{r} \log \sin 11^\circ 51' = 9.3124951 \\ \log \sin 52^\circ 31' = 9.8995636 \\ \hline 9.2120587 \\ - 9.8497617 \\ \hline 9.3622970 : 2 = 9.6811485 \\ \log \operatorname{tg} \frac{s_3}{2} = 9.6811485 \end{array}$$

$$\log \operatorname{tg} \frac{s_3}{2} = 9.6811485$$

$$\frac{s_3}{2} = 25^\circ 38' 10.4''$$

$$s_3 = 51^\circ 16' 20.8''.$$

$$\operatorname{tg} \frac{l_4}{2} = \sqrt{\frac{\sin(s-d) \cdot \sin(s-e)}{\sin s \cdot \sin(s-a)}} = \sqrt{\frac{\sin 52^\circ 27' \cdot \sin 52^\circ 31'}{\sin 116^\circ 49' \cdot \sin 11^\circ 51'}}$$

$$\begin{array}{r} \log \sin 52^\circ 27' = 9.8991756 \\ \log \sin 52^\circ 31' = 9.8995636 \\ \hline 9.7987392 \\ - 9.2630812 \\ \hline 0.5356580 : 2 = 0.2678290 \end{array}$$

$$0.5356580 : 2 = 0.2678290$$

$$\log \operatorname{tg} \frac{l_4}{2} = 0.2678290$$

$$\frac{l_4}{2} = 61^\circ 38' 35.6''$$

$$l_4 = 123^\circ 17' 11.2''.$$

Na taj smo način odredili sva četiri kuta sfernoga četvorokuta (111), (1 $\bar{1}$ 1), (1 $\bar{1}$ 1), (1 $\bar{1}$ 1) i dobili:

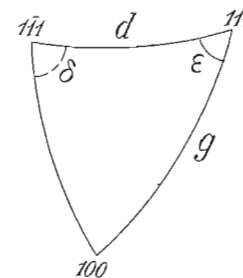
$$\begin{aligned} l_1(111) &= s_1 + s_2 = 59^\circ 4' 5.4'' + 51^\circ 13' 57'' = 110^\circ 18' 2.4'', \\ l_2(1\bar{1}1) &= 120^\circ 53' 13'', \\ l_3(1\bar{1}1) &= s_3 + s_4 = 51^\circ 16' 20.8'' + 46^\circ 48' 8.8'' = 98^\circ 4' 29.6'', \\ l_4(1\bar{1}1) &= 123^\circ 17' 11.2''. \end{aligned}$$

Sad ćemo izračunati stranicu g(111) : (100) u trokutu (111), (1 $\bar{1}$ 1), (100) (sl. 477.), u kom poznamo stranicu d(111) : (1 $\bar{1}$ 1) = 64° 22' i kutove δ(1 $\bar{1}$ 1) = 180° - l<sub>4</sub> = 56° 42' 48.8'', ε(111) = 180° - l<sub>1</sub> = 69° 41' 57.6''; dakle:

$$\operatorname{tg} g(111) : (100) = \frac{\operatorname{tg} d \cdot \sin \mu}{\sin(e + \mu)}, \text{ gdje je:}$$

$$\operatorname{tg} \mu = \operatorname{tg} \delta \cdot \cos d = \operatorname{tg} 56^\circ 42' 48.8'' \cdot \cos 64^\circ 22'.$$

$$\begin{array}{r} \log \operatorname{tg} 56^\circ 42' 48.8'' = 0.1827397 \\ \log \cos 64^\circ 22' = 9.6360969 \\ \hline \log \operatorname{tg} \mu = 9.8188366 \\ \mu = 33^\circ 22' 54.9'' \\ \varepsilon = 69^\circ 41' 57.6'' \\ + \mu = 33^\circ 22' 54.9'' \\ \hline \varepsilon + \mu = 103^\circ 4' 52.5'' \\ \operatorname{tg}(111) : (100) = \frac{\operatorname{tg} 64^\circ 22' \cdot \sin 33^\circ 22' 54.9''}{\sin 103^\circ 4' 52.5''} \\ \log \operatorname{tg} 64^\circ 22' = 0.3189079 \\ + \log \sin 33^\circ 22' 54.9'' = 9.7405342 \\ \hline 0.0594421 \\ - \log \sin 103^\circ 4' 52.5'' = 9.9885813 \\ \hline \log \operatorname{tg}(111) : (100) = 0.0708608 \\ (111) : (100) = 49^\circ 39' 13.2''. \end{array}$$



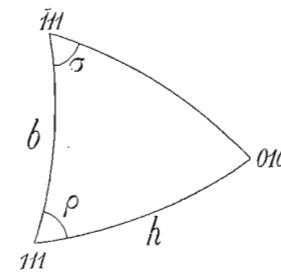
Sl. 477.

Još ćemo u trokutu (111), (1 $\bar{1}$ 1), (010) (sl. 478.), u kom poznamo stranicu b(111) : (111) = 59° 6' i kutove ρ(111) = 180° - l<sub>1</sub> = 69° 41' 57.6'', σ(1 $\bar{1}$ 1) = 180° - l<sub>2</sub> = 59° 6' 47'', izračunati stranicu (111) : (010); dakle:

$$\operatorname{tg} h(111) : (010) = \frac{\operatorname{tg} b \cdot \sin \nu}{\sin(\rho + \nu)}, \text{ gdje je}$$

$$\operatorname{tg} \nu = \operatorname{tg} \sigma \cdot \cos b = \operatorname{tg} 59^\circ 6' 47'' \cdot \cos 55^\circ 9'$$

$$\begin{array}{r} \log \operatorname{tg} 59^\circ 6' 47'' = 0.2231694 \\ \log \cos 55^\circ 9' = 9.7569630 \\ \hline \log \operatorname{tg} \nu = 9.9801324 \\ \nu = 43^\circ 41' 23.6'' \\ \rho = 69^\circ 41' 57.6'' \\ + \nu = 43^\circ 41' 23.6'' \\ \hline \rho + \nu = 113^\circ 23' 21.2'' \\ \operatorname{tg} h(111) : (010) = \frac{\operatorname{tg} 59^\circ 6' \cdot \sin 43^\circ 41' 23.6''}{\sin 113^\circ 23' 21.2''} \end{array}$$

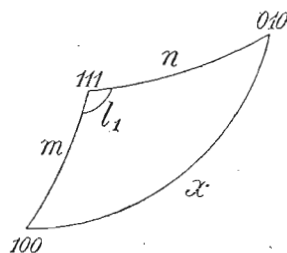


Sl. 478.

$$\begin{aligned} \log \operatorname{tg} 55^{\circ} 9' &= 0.1571954 \\ + \log \sin 43^{\circ} 41' 23.6'' &= 9.8393239 \\ \hline &9.9965193 \\ - \log \sin 113^{\circ} 23' 21.2'' &= 9.9627619 \\ \hline \log \operatorname{tg} h(111):(010) &= 0.0337574 \\ (111):(010) &= 47^{\circ} 13' 28.3'' \end{aligned}$$

Pošto smo izračunali stranicu (111):(100) i (111):(010), izračunat ćemo u trokutu (111), (100), (010) (sl. 479.), u kom poznamo osim pomenutih stranica još i kut kod (111), koji je jednak kutu  $l_1$ , stranicu (100):(010); dakle:

$$\begin{aligned} m(100):(111) &= 49^{\circ} 39' 13.2'' \\ n(111):(010) &= 47^{\circ} 13' 28.3'' \\ l_1(111) &= 110^{\circ} 18' 2.4'' \end{aligned}$$



Sl. 479.

$$\sin \frac{x}{2} = \sqrt{\sin \left( \frac{m+n}{2} + \psi \right) \cdot \sin \left( \frac{m+n}{2} - \psi \right)},$$

gdje je:  $\sin \psi = \cos \frac{l_1}{2} \sqrt{\sin m \cdot \sin n}$

$$\begin{aligned} \sin \psi &= \cos 55^{\circ} 9' 1.2'' \cdot \sqrt{\sin 49^{\circ} 39' 13.2'' \cdot \sin 47^{\circ} 13' 28.3''} \\ \log \sin 49^{\circ} 39' 13.2'' &= 9.8820376 \\ \log \sin 47^{\circ} 13' 28.3'' &= 9.8657083 \\ \hline &9.7477459 : 2 = 9.8738729 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} + \log \cos 55^{\circ} 9' 1.2'' &= 9.7569594 \\ \log \sin \psi &= 9.6308323 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \psi &= 25^{\circ} 18' 9.1'' \\ m &= 49^{\circ} 39' 13.2'' \\ + n &= 47^{\circ} 13' 28.3'' \\ \hline m+n &= 96^{\circ} 52' 41.5'' : 2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{m+n}{2} &= 48^{\circ} 26' 20.8'' \\ - \psi &= 25^{\circ} 18' 9.1'' \end{aligned}$$

$$\frac{m+n}{2} - \psi = 23^{\circ} 8' 11.7''$$

$$\begin{aligned} \frac{m+n}{2} &= 48^{\circ} 26' 20.8'' \\ + \psi &= 25^{\circ} 18' 9.1'' \end{aligned}$$

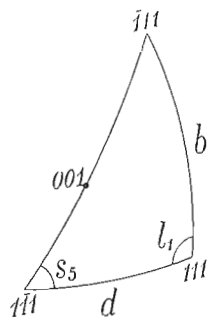
$$\frac{m+n}{2} + \psi = 73^{\circ} 44' 29.9''$$

$$\begin{aligned} \sin \frac{x}{2} &= \sqrt{\sin 73^{\circ} 44' 29.9'' \cdot \sin 23^{\circ} 8' 11.7''} \\ \log \sin 73^{\circ} 44' 29.9'' &= 9.9822753 \\ \log \sin 23^{\circ} 8' 11.7'' &= 9.5943090 \\ \hline &9.5765843 : 2 = 9.7882922 \end{aligned}$$

$$\log \sin \frac{x}{2} = 9.7882922$$

$$\frac{x}{2} = 37^{\circ} 53' 31.2''$$

$$x(100):(010) = 75^{\circ} 47' 2.4''$$



Sl. 480.

Sad ćemo izračunati položaj plohe (001) na zonalnom krugu [111, 111], t. j. izračunat ćemo kut (001):(111), koji tačno određuje položaj plohe (111) na zonalnom krugu [111, 111]. U tu svrhu poslužit ćemo se trokutom (111), (111), (111) (sl. 480.), u kom poznamo stranicu b(111):(111) = 55°9', stranicu d(111):(111) = 64°22' i kut  $l_1(111) = 110^{\circ} 18' 2.4''$ ; izračunat ćemo kut kod (111) =  $s_5$ ; dakle:

$$\operatorname{tg} s_5 = \frac{\sin \varphi}{\sin (d-\varphi)} \cdot \operatorname{tg} l_1; \text{ ili:}$$

$$\operatorname{tg} s_5 = \frac{\sin (-\varphi)}{\sin (d-\varphi)} \cdot \operatorname{tg} (180^{\circ} - l_1), \text{ gdje je:}$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tg} b \cdot \cos l_1, \text{ ili } \operatorname{tg} (-\varphi) = \operatorname{tg} b \cdot \cos (180^{\circ} - l_1)$$

$$\operatorname{tg} (-\varphi) = \operatorname{tg} 55^{\circ} 9' \cdot \cos (180^{\circ} - 110^{\circ} 18' 2.4'') = \operatorname{tg} 55^{\circ} 9' \cdot \cos 69^{\circ} 41' 57.6''$$

$$\begin{aligned} \log \operatorname{tg} 55^{\circ} 9' &= 0.1571954 \\ \log \cos 69^{\circ} 41' 57.6'' &= 9.5402626 \\ \log \operatorname{tg} (-\varphi) &= 9.6974580 \\ (-\varphi) &= 26^{\circ} 29' 7.2'' \\ \varphi &= -26^{\circ} 29' 7.2'' \end{aligned}$$

Tu ćemo vrijednost uvrstiti u formulu za  $s_5$ :

$$\begin{aligned} &64^{\circ} 22' \\ + 26^{\circ} 29' 7.2'' \\ \hline d - \varphi &= 90^{\circ} 51' 7.2'' \\ \operatorname{tg} s_5 &= \frac{\sin 26^{\circ} 29' 7.2''}{\sin 90^{\circ} 51' 7.2''} \cdot \operatorname{tg} 69^{\circ} 41' 57.6'' \\ \log \sin 26^{\circ} 29' 7.2'' &= 9.6493044 \\ + \log \operatorname{tg} 69^{\circ} 41' 57.6'' &= 0.4318870 \\ \hline &0.0811914 \\ - \log \sin 90^{\circ} 51' 7.2'' &= 9.9999520 \\ \hline \log \operatorname{tg} s_5 &= 0.0812394 \\ s_5 &= 50^{\circ} 19' 40.4'' \end{aligned}$$

U trokutu (111), (001), (111) (sl. 481.), u kom poznamo stranicu d(111):(111) = 64°22' i kutove  $s_2 = 51^{\circ} 13' 57''$  (vidi str. 218.),  $s_5 = 50^{\circ} 19' 40.4''$ , izračunat ćemo stranicu x(001):(111); dakle:

$$\operatorname{tg} x = \frac{\operatorname{tg} d \cdot \sin v}{\sin (s_2 + v)}, \text{ gdje je:}$$

$$\operatorname{tg} v = \operatorname{tg} s_5 \cdot \cos d;$$

$$\log \operatorname{tg} 50^{\circ} 19' 40.4'' = 0.0812394$$

$$\log \cos 64^{\circ} 22' = 9.6360969$$

$$\log \operatorname{tg} v = 9.7173363$$

$$v = 27^{\circ} 32' 47.3''$$

$$\operatorname{tg} x = \frac{\operatorname{tg} 64^{\circ} 22' \cdot \sin 27^{\circ} 32' 47.3''}{\sin 78^{\circ} 46' 44.3''}$$

$$\log \operatorname{tg} 64^{\circ} 22' = 0.3185079$$

$$+ \log \sin 27^{\circ} 32' 47.3'' = 9.6650816$$

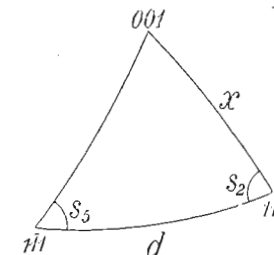
$$9.9839895$$

$$- \log \sin 78^{\circ} 46' 44.3'' = 9.9916176$$

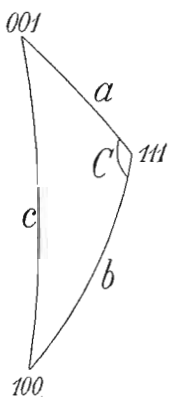
$$\log \operatorname{tg} x(001):(111) = 9.9923719$$

$$(001):(111) = 44^{\circ} 29' 48.6''$$

Tim je određen položaj plohe (001). Sad ćemo izračunati stranicu c(001):(100) u trokutu (001), (111), (100) (sl. 482.), u kom poznamo stranicu a(001):(111) = 44°29'48.6'',



Sl. 481.



Sl. 482.

stranicu  $b(111):(100) = 49^\circ 39' 13.2''$  (vidi str. 219.) i kut  $C(111) = \epsilon + s_2 = 69^\circ 41' 57.6'' + 51^\circ 13' 57'' = 120^\circ 55' 54.6''$ ; dakle:

$$\sin \frac{c}{2} = \sqrt{\sin \left( \frac{a+b}{2} + \psi \right) \cdot \sin \left( \frac{a+b}{2} - \psi \right)}, \text{ gdje je:}$$

$$\sin \psi = \cos \frac{C}{2} \sqrt{\sin a \cdot \sin b}$$

$$\sin \psi = \cos 60^\circ 27' 57.3'' \cdot \sqrt{\sin 44^\circ 29' 48.6'' \cdot \sin 49^\circ 39' 13.2''}$$

$$\log \sin 44^\circ 29' 48.6'' = 9.8456374$$

$$+ \log \sin 49^\circ 39' 13.2'' = 9.8820376$$

$$9.7276750 : 2 = 9.8638375$$

$$9.8638375$$

$$+ \log \cos 60^\circ 27' 57.3'' = 9.6927951$$

$$\log \sin \psi = 9.5566326$$

$$\psi = 21^\circ 7' 1.2''$$

$$a = 44^\circ 29' 48.6''$$

$$\frac{a+b}{2} = 47^\circ 4' 30.9''$$

$$\frac{a+b}{2} = 47^\circ 4' 30.9''$$

$$b = 49^\circ 39' 13.2''$$

$$+ \psi = 21^\circ 7' 1.2''$$

$$- \psi = 21^\circ 7' 1.2''$$

$$a+b = 94^\circ 9' 1.8'' : 2$$

$$\frac{a+b}{2} = 47^\circ 4' 30.9''$$

$$\frac{a+b}{2} + \psi = 68^\circ 11' 32.1''$$

$$\frac{a+b}{2} - \psi = 25^\circ 57' 29.7''$$

$$\sin \frac{c}{2} = \sqrt{\sin 68^\circ 11' 32.1'' \cdot \sin 25^\circ 57' 29.7''}$$

$$\log \sin 68^\circ 11' 32.1'' = 9.9677518$$

$$+ \log \sin 25^\circ 57' 29.7'' = 9.6411925$$

$$9.6089443 : 2 = 9.8044722$$

$$\log \sin \frac{c}{2} = 9.8044722$$

$$\frac{c}{2} = 39^\circ 36' 17.2''$$

$$c(001):(100) = 79^\circ 12' 34.4''$$

Treba još izračunati luk  $(001):(010)$  u trokutu  $(001), (111), (010)$  (sl. 483.), u kom poznamo stranicu  $a(001):(111) = 44^\circ 29' 48.6''$ , stranicu  $b(111):(010) = 47^\circ 13' 28.3''$  i kut  $C(111) = \rho + s_1 = 69^\circ 41' 57.6'' + 59^\circ 4' 5.4'' = 128^\circ 46' 3''$ ; dakle:

$$\sin \frac{c}{2} = \sqrt{\sin \left( \frac{a+b}{2} + \psi \right) \cdot \sin \left( \frac{a+b}{2} - \psi \right)}, \text{ gdje je:}$$

$$\sin \psi = \cos \frac{C}{2} \sqrt{\sin a \cdot \sin b} = \cos 64^\circ 23' 1.5'' \cdot \sqrt{\sin 44^\circ 29' 48.6'' \cdot \sin 47^\circ 13' 28.3''}$$

$$\log \sin 44^\circ 29' 48.6'' = 9.8456374$$

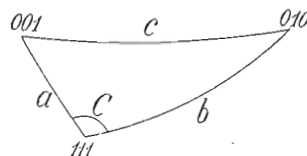
$$\log \sin 47^\circ 13' 28.3'' = 9.8657083$$

$$9.7113457 : 2 = 9.8556729$$

$$\log \cos 64^\circ 23' 1.5'' = 9.6358269$$

$$\log \sin \psi = 9.4914998$$

$$\psi = 18^\circ 3' 54.6''$$



Sl. 483.

$$a = 44^\circ 29' 48.6''$$

$$+ b = 47^\circ 13' 28.3''$$

$$a+b = 91^\circ 43' 16.9'' : 2$$

$$\frac{a+b}{2} = 45^\circ 51' 38.5''$$

$$\frac{a+b}{2} = 45^\circ 51' 38.5''$$

$$+ \psi = 18^\circ 3' 54.6''$$

$$\frac{a+b}{2} + \psi = 63^\circ 55' 33.1''$$

$$\frac{a+b}{2} = 45^\circ 51' 38.5''$$

$$- \psi = 18^\circ 3' 54.6''$$

$$\frac{a+b}{2} - \psi = 27^\circ 47' 43.9''$$

$$\sin \frac{c}{2} = \sqrt{\sin 63^\circ 55' 33.1'' \cdot \sin 27^\circ 47' 43.9''}$$

$$\log \sin 63^\circ 55' 33.1'' = 9.9533857$$

$$\log \sin 27^\circ 47' 43.9'' = 9.6686818$$

$$9.6220675 : 2 = 9.8110338$$

$$\log \sin \frac{c}{2} = 9.8110338$$

$$\frac{c}{2} = 40^\circ 19' 49''$$

$$c(001):(010) = 80^\circ 39' 38''$$

Dobili smo dakle računom ove vrijednosti za:

$$(001):(100) = 79^\circ 12' 34.4''$$

$$(001):(010) = 80^\circ 39' 38''$$

$$(100):(010) = 75^\circ 47' 2.4''$$

$$(001):(111) = 44^\circ 29' 48.6''$$

$$(111):(100) = 49^\circ 39' 13.2''$$

$$(111):(010) = 47^\circ 13' 28.3''$$

S pomoću prve tri veličine izračunaju se osni kutovi  $\alpha, \beta, \gamma$ , a s pomoću dvije od tri zadnje veličine osni odnos  $a:b:c$ ; postupak je isti kao i pod a).

c) Ako se na triklinskom kristalu nisu razvile ili nisu zgodne za mjerenje plohe pomenute pod a) i b), nego su se osim ploha, koje smo uzeli za osne ravnine, t. j. osim  $(001), (100)$  i  $(010)$ , razvile samo takve plohe, koje su paralelne sa jednom od kristalnih osi (prizme, makrodome ili brahidome), moramo za potpuno odredjenje kristalnih elemenata, osim pinakoida  $(001), (100)$  i  $(010)$ , imati još dvije plohe, od kojih je svaka paralelna drugoj kristalnoj osi; potrebne su dakle u takvom slučaju za potpuno odredjenje kristalnih elemenata pet ploha, dok su u slučaju pod a) i b) bile potrebne četiri plohe. Neka su osim kutova, što ih medju sobom tvore pinakoidi  $(001):(100), (001):(010)$  i  $(100):(010)$ , mjereni još i kutovi  $(100):(110)$  i  $(010):(011)$ . Rješenje će dati ovaj postupak:

U trokutu  $(100), (110), (001)$ , u kom su poznate mjerene stranice  $(100):(110), (100):(001)$  i kut kod  $(100) = \alpha'$ , koji se nadje iz trokuta  $(001), (100), (010)$ , izračunat ćemo kut kod  $(001)$ ; taj kut daje omjer  $a:b$  po formuli na str. 213. Zatim ćemo u trokutu  $(100), (010), (011)$ , u kom poznamo mjerene stranice  $(100):(010), (010):(011)$  i kut kod  $(010) = \beta'$ , izračunati kut  $m_1(100)$ , koji daje omjer  $c:b$  po formuli na str. 213.

II. Izračunavanje znakova. Poznati su kutovi, neka se odredi znak plohe. Taj ćemo zadatak riješiti sličnim postupkom, kao što je onaj pod a), b) ili c): odredit ćemo parametre plohe, kojoj tražimo znak i te parametre razdijeliti ćemo sa parametrima osnovne plohe  $(111)$ . Na taj ćemo način odrediti, u koliko puta većoj udaljenosti siječe ploha, kojoj tražimo znak, osi  $a$  i  $c$  od osnovne plohe, a tim je i znak plohe određen.

Primjer: Kod anortita, komu su kristalni elementi određeni jednim od tri načina pod a), b) i c), zapažena je u gornjem prednjem desnom oktantu neka ploha. Zbog jednostavnosti uzet ćemo, da smo mjerili dva kuta, što ih ta ploha  $(hkl)$  čini sa dva od tri pinakoida  $(001), (100), (010)$ . Mjeren je na pr. kut:

$$(hkl):(001) = 53^\circ 7' 30'' \text{ i}$$

$$(hkl):(100) = 44^\circ 19''$$

Uzet ćemo trokut (001), (100), (hkl) (sl. 484.), u kom su poznate mjerene stranice a (001):(100) = 63° 57' (ova stranica, ako nije mjerena, može se odrediti iz kristalnih elemenata postupkom obratnim od postupka pod a), b (001):(hkl) = 53° 7' 30'', c (hkl):(100) = 44° 19'. Poznati su kristalni elementi anortita a : b : c = 0.6346 : 1 : 0.550, α = 93° 13' 18'', β = 115° 55' 30'', γ = 91° 11' 38''.

U pomenutom trokutu naći ćemo najprije kut kod (001) = m<sub>3</sub>:

$$\frac{a + b + c}{2} = s = 80^\circ 41' 45''$$

$$s - a = 16^\circ 44' 45''$$

$$s - b = 27^\circ 34' 15''$$

$$s - c = 36^\circ 22' 45''$$

$$\operatorname{tg} \frac{m_3}{2} = \sqrt{\frac{\sin(s-a) \cdot \sin(s-b)}{\sin s \cdot \sin(s-c)}} = \sqrt{\frac{\sin 16^\circ 44' 45'' \cdot \sin 27^\circ 34' 15''}{\sin 80^\circ 41' 45'' \cdot \sin 36^\circ 22' 45''}}$$

$$\log \sin 16^\circ 44' 45'' = 9.45959$$

$$\log \sin 80^\circ 41' 45'' = 9.99424$$

$$\log \sin 27^\circ 34' 15'' = 9.66543$$

$$\log \sin 36^\circ 22' 45'' = 9.77315$$

$$9.12502$$

$$9.76739$$

$$- 9.76739$$

$$9.35763 : 2 = 9.67882$$

$$\log \operatorname{tg} \frac{m_3}{2} = 9.67882$$

$$\frac{m_3}{2} = 25^\circ 31'$$

$$m_3 = 51^\circ 2'$$

Kut m<sub>3</sub> daje omjer a' : b za plohu (hk) po formuli na str. 213.

$$\frac{a'}{b} = \frac{\sin m_3}{\sin(\gamma + m_3)}$$

$$\gamma = 91^\circ 11' 38''$$

$$m_3 = 51^\circ 2'$$

$$\gamma + m_3 = 142^\circ 13' 38''$$

$$\frac{a'}{b} = \frac{\sin 51^\circ 2'}{\sin 142^\circ 13' 38''}$$

$$\log \sin 51^\circ 2' = 9.89071$$

$$- \log \sin 142^\circ 13' 38'' = 9.78713$$

$$\log \frac{a'}{b} = 0.10358$$

$\frac{a'}{b} = 1.2693$ ; to ćemo razdijeliti sa  $\frac{a}{b}$  osnovne plohe:

$$\frac{a'}{b} : \frac{a}{b} = \frac{a'}{a} = 1.2693 : 0.6346 = 2.$$

Našli smo dakle, da ploha (hkl) siječe os a u 2 puta većoj udaljenosti negoli osnovna ploha (111), uzevši da os b siječe u istoj udaljenosti kao i osnovna ploha. Izračunat ćemo još u trokutu (001), (100), (hkl) kut kod (100) = m' :

$$\operatorname{tg} \frac{m'}{2} = \sqrt{\frac{\sin(s-a) \cdot \sin(s-c)}{\sin s \cdot \sin(s-b)}} = \sqrt{\frac{\sin 16^\circ 44' 45'' \cdot \sin 36^\circ 22' 45''}{\sin 80^\circ 41' 45'' \cdot \sin 27^\circ 34' 15''}}$$

$$\log \sin 16^\circ 44' 45'' = 9.45959$$

$$\log \sin 80^\circ 41' 45'' = 9.99424$$

$$+ \log \sin 36^\circ 22' 45'' = 9.77315$$

$$+ \log \sin 27^\circ 34' 15'' = 9.66543$$

$$9.23274$$

$$9.65967$$

$$- 9.65967$$

$$9.57307 : 2 = 9.78654$$

$$\log \operatorname{tg} \frac{m'}{2} = 9.78654$$

$$\frac{m'}{2} = 31^\circ 27' 14''$$

$$m' = 62^\circ 54' 28''.$$

Odbijemo li to od α' = 180° - α, dobit ćemo kut m<sub>1</sub>, koji po formuli na str. 213. daje omjer c' : b za plohu (hkl); dakle:

$$179^\circ 59' 60''$$

$$- \alpha = 93^\circ 13' 18''$$

$$\alpha' = 86^\circ 46' 42''$$

$$- m' = 62^\circ 54' 28''$$

$$m_1 = 23^\circ 52' 14''$$

$$93^\circ 13' 18'' = \alpha$$

$$+ 23^\circ 52' 14'' = m_1$$

$$\alpha + m_1 = 117^\circ 5' 32''$$

$$\frac{c'}{b} = \frac{\sin(\alpha + m_1)}{\sin m_1}$$

$$\frac{c'}{b} = \frac{\sin 117^\circ 5' 32''}{\sin 23^\circ 52' 14''}$$

$$\log \sin 117^\circ 5' 32'' = 9.94952$$

$$- \log \sin 23^\circ 52' 14'' = 9.60711$$

$$\log \frac{c'}{b} = 0.34241$$

$\frac{c'}{b} = 2.1999$ ; to ćemo razdijeliti sa  $\frac{c}{b}$  osnovne plohe:

$$\frac{c'}{b} : \frac{c}{b} = \frac{c'}{c} = 2.1999 : 0.550 = 4.$$

Ploha (hkl) siječe dakle os c u 4 puta većoj udaljenosti negoli osnovna ploha (111); prije smo našli, da ta ploha siječe os a u 2 puta većoj udaljenosti negoli osnovna ploha, dok os b siječe u istoj udaljenosti. Prema tome je Weissov simbol plohe (hkl) = 2a : b : 4c ili po Milleru (hkl) = (241).

Tokom našega opisivanja pojedinih kristalnih razreda i njihovih forma imali smo prilike vidjeti, kako se i ti razredi i te forme daju izvesti jedni iz drugih. Sve su to zapravo modifikacije jednoga jedinoga sustava, jedne jedine forme.<sup>1)</sup> Kako su se mijenjale osi sve od teseralnoga do triklinskoga sustava, tako je uz te promjene osi padao i stupanj simetrije pojedinih

<sup>1)</sup> Francuski mineralog *Mallard* i njegovi sljedbenici smatraju sve minerale kao pseudoteseralne. Ruski mineralog *Fedorov* tvrdi, da od 455 minerala, što ih je on proučavao, pripadaju svi ili teseralnom tipu (pseudoteseralni minerali), ili hipoheksagonskom tipu (pseudoheksagonski minerali). Što je neki mineral jednostavnijega kemijskoga sastava, vjerojatnije je, da pripada teseralnom tipu, što je zamršenijega sastava, pripada hipoheksagonskom tipu, na pr. fosfati, sulfati, silikati.



sustava. Oktaedar, osnovna forma teseralnoga sustava, promjenom parametara, promjenom položaja svojih ploha prema kristalnim osima, prešao je u druge forme teseralnoga sustava, a iz teseralnoga sustava daljnjim mijenjanjem položaja ploha i osi prešao je u forme tetragonske, heksagonske, rompske, monoklinske i triklinske, raspadnuvši se konačno u formu sa jednom jedinom plohom.

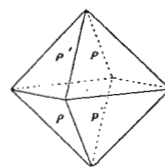
Kad u triklinskom sustavu bude  $\alpha = \gamma = 90^\circ$ , prijeći će on u monoklinski sustav; kad u monoklinskom sustavu bude  $\beta = 90^\circ$ , prijeći će on u rompski sustav; kad u rompskom sustavu bude  $b = a$ , prijeći će on u tetragonski sustav; kad u heksagonskom sustavu bude  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ , prijeći će on u tetragonski sustav; kad u tetragonskom sustavu bude  $c = a$ , prijeći će on u teseralni sustav. Tim prelazanjem jednoga sustava u drugi može se dogoditi, da se neki kristali razvijaju u pseudosimetrijskim formama (45).

#### 44. Pregled kristalnih sustava i razreda.

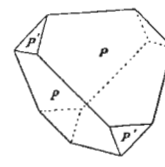
Kristalni razred	Ravnine simetrije	Osi simetrije	Centar simetrije
<i>I. Teseralni sustav :</i>			
1. Holoedrija	3PG + 6PS	$6L^2 + 4L^3 + 3L^4$	C
2. Tetraedrijska hemiedrija	6PS	$3L^2 + 4L^3$	—
3. Pentagonska hemiedrija	3PG	$3L^2 + 4L^3$	C
4. Plagiedrijska hemiedrija	—	$6L^2 + 4L^3 + 3L^4$	—
5. Tetartoedrija	—	$3L^2 + 4L^3$	—
<i>II. Tetragonski sustav :</i>			
6. Holoedrija	1PG + 4PS	$4L^2$ — $1L^4$	C
7. Hemimorfija holoedrije	4PS	— $1L^4$	—
8. Sfenoidska hemiedrija	2PS	$3L^2$ — $1L^4$	C
9. Piramidska hemiedrija	1PG	— $1L^4$	—
10. Trapezoedrijska hemiedrija	—	$4L^2$ — $1L^4$	—
11. Hemimorfija piramid. hemiedrije	—	— $1L^4$	—
12. Sfenoidska tetartoedrija	—	$1L^2$ — —	—
<i>III. Heksagonski sustav :</i>			
13. Holoedrija	1PG + 6PS	$6L^2$ — — $1L^6$	C
14. Hemimorfija holoedrije	6PS	— — — $1L^6$	—
15. Trigonska hemiedrija	1PG + 3PS	$3L^2 + 1L^3$ — —	C
16. Romboedrijska hemiedrija	3PS	$3L^2 + 1L^3$ — —	C
17. Piramidska hemiedrija	1PG	— — — $1L^6$	C
18. Trapezoedrijska hemiedrija	—	$6L^2$ — — $1L^6$	—
19. Hemimorfija trigonske hemiedrije	3PS	— $1L^3$ — —	—
20. Hemimorfija piramid. hemiedrije	—	— — — $1L^6$	—
21. Trigonska tetartoedrija	1PG	— $1L^3$ — —	—
22. Trapezoedrijska tetartoedrija	—	$3L^2 + 1L^3$ — —	—
23. Romboedrijska tetartoedrija	—	— $1L^3$ — —	C
24. Hemimorf. trigonske tetartoedrije	—	— $1L^3$ — —	—
<i>IV. Rompski sustav :</i>			
25. Holoedrija	3P	$3L^2$ — — —	C
26. Hemimorfija holoedrije	2P	$1L^2$ — — —	—
27. Hemiedrija	—	$3L^2$ — — —	—

Kristalni razred	Ravnine simetrije	Osi simetrije	Centar simetrije
<i>V. Monoklinski sustav :</i>			
28. Holoedrija	1P	$1L^2$ — — —	C
29. Hemimorfija holoedrije	—	$1L^2$ — — —	—
30. Hemiedrija	1P	— — — —	—
<i>VI. Triklinski sustav :</i>			
31. Holoedrija	—	— — — —	C
32. Hemiedrija	—	— — — —	—

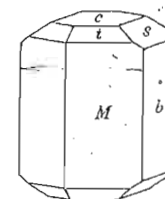
45. Kadikad se neki kristali nižega stupnja simetrije približuju svojom formom kristalima višega stupnja simetrije stvarajući tako pseudosimetrijske forme. Kristalne sustave izveli smo iz teseralnoga sustava tako, da su kristalne osi postale u dva slučaja razne dužine, a u tri slučaja razne dužine i razna položaja. Pri toj promjeni kristalnih osi promijenio se je i broj ravnina simetrije tako, da su se razvili kristali sa nižim stupnjem simetrije. Pri kristalizaciji minerala mogu se razviti i takvi kristali, koji su nižega stupnja simetrije, ali svojom formom naliče na kristale višega stupnja simetrije. Događa se to onda, kad su razlike u veličini i položaju kristalnih osi vrlo neznatne, gotovo neprimjetljive, pa se kristali nižega stupnja simetrije približuju formom kristalima višega stupnja simetrije stvarajući t. zv. *pseudosimetrijske forme*. Tu pojavu zovemo *pseudosimetrijom*. Halkopirit na pr., koji se kristalizuje tetragonski u sfenoidskoj hemiedriji, približuje se svojom formom posvema kristalima teseralnoga sustava, jer mu se glavna os  $c$  približila veličinom suosima tako, da su sve tri osi gotovo jednake dužine, t. j.  $a:a:c = 1:1:0,98525 \dots$ . Prema tome je osnovna piramida ili bisfenoid halkopirita slična formom oktaedru (sl. 485.) ili tetraedru (sl. 486.), jer joj je kut ovršnoga brida  $(111) : (1\bar{1}\bar{1}) =$



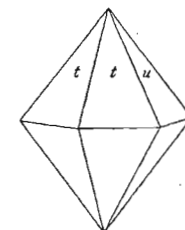
Sl. 485.



Sl. 486.



Sl. 487.



Sl. 488.

$= 70^\circ 7 \frac{1}{2}'$ , a kut osnovnoga brida  $(111) : (1\bar{1}\bar{1}) = 71^\circ 20'$ , dok kod oktaedra iznosi kut  $(111) : (1\bar{1}\bar{1}) = 70^\circ 31' 44''$ , iz čega slijedi, da je kod njega  $a:a:a = 1:1:1$ . Mijenjanjem položaja kristalnih osi neki kristali pokazuju pseudosimetrijske forme; ako na pr. u triklinskom sustavu postane  $\alpha = \gamma = 90^\circ$ ,

razvit će se kristali sa monoklinskom simetrijom, kao što je to slučaj na pr. kod kalijevih glinenaca (feldšpata) ortoklasa i mikrokлина. Kod ortoklasa je  $\alpha = \gamma = 90^\circ$ ,  $\beta = 116^\circ 3' 14''$ , a kod mikrokлина je  $\alpha = 90^\circ 7'$ ,  $\beta = 115^\circ 50'$ ,  $\gamma = 89^\circ 55'$ ; oba su se ta minerala razvila pseudomonoklinski. Do pseudosimetrije može doći pri razvitku kombinacija onih kristalnih forma nižega stupnja simetrije, gdje kristalne plohe tvore kutove (uglove), koji se približuju kutovima neke forme višega stupnja simetrije. Ako na pr. u rompskom sustavu kut prizme bude skoro jednak  $60^\circ$ , razvit će se kristali heksagonskoga lica, na pr. pseudoheksagonski kristali kordierita (sl. 487.), gdje je kut prizme  $(110):(1\bar{1}0) = 60^\circ 50'$ ; ako taj kut bude skoro jednak  $90^\circ$ , razvit će se kristali tetragonskoga lica, na pr. pseudotetragonski kristali otenita, gdje je kut prizme  $(110):(1\bar{1}0) = 89^\circ 17'$ . Biotit, koji se kristalizuje monoklinski, pokazuje također pseudoheksagonske forme; kod njega se razvila prizma  $\{110\}$  u kombinaciji sa brahipinakoidom  $\{010\}$ , a kut prizme  $(110):(1\bar{1}0) = 60^\circ$ ; kako je kut  $\beta = 90^\circ$ , leži osnovni pinakoid horizontalno. Kod kombinacija takvih forma razvit će se kristali sa raznovrsnim plohama, a pričinjat će se kao jednostavna forma. Tako se na pr. cerusit kristalizuje u rompskoj holoedriji, a kadikad naliči formom na heksagonsku bipiramidu (sl. 488.); na takvim cerusitovim kristalima razvila se uz piramidu  $t\{111\}$  i doma  $u\{021\}$ , kojima su plohe gotovo jednako udaljene od središta.

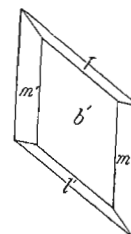
Općenito uzevši možemo reći, da će doći do pseudomonoklinskih kristala, kad bude u triklinskom sustavu  $\alpha \neq \gamma \neq 90^\circ$ ; do pseudorompskih kristala, kad bude  $\beta \neq 90^\circ$ ; do pseudoheksagonskih kristala, kad plohe osnovnih forma budu činile sa suosima kut (ugao) od skoro  $60^\circ$  ili  $30^\circ$ ; do pseudotetragonskih kristala kad bude  $a \neq b$  i  $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$ ; do pseudotetralnih kad bude  $a \neq b \neq c$  i  $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$ .

## SRASLACI ILI BLIZANCI.

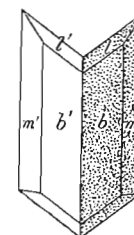
### 46. Kristali se pravilno srastu stvarajući tako sraslace (blizance).

Kad se neka mineralna tvar kristalizuje, može da se kristalizuje ili u kristalastim nakupinama ili u jasnim kristalima; stoji to do prilika, u kojima se vrši kristalizacija (13). Ako su prilike tokom kristalizacije bile povoljne, ako je mineral za svoje rasteње imao dovoljno prostora, razvio se je on ili u slobodnim ili u priraslim kristalima (8). Slobodni i prirasli kristali predstavljaju mineralne individue; svaki takav kristal (zovimo ga zasebni kristal) samo je jedan individuum izgradjen u svojoj nutrini posve pravilno od broja sićušnih čestica, od atoma (36). Ali događa se kadšto, da neki mineral izraste u kristalima, koji su sastavljeni od dva ili više individua, t.j. dva ili više zasebnih kristala srastu se zajedno u sraslace (blizance). Sraštenje (bližnjenje) ili razvitak sraslaca nije neka slučajna pojava; i tu vladaju stalni zakoni, koji upravljaju mineralnim česticama te sile, da čestice jednoga individua zauzmu posve pravilan, simetrijski položaj spram drugoga

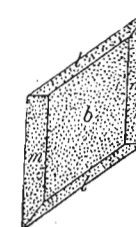
individua. Pravilan položaj individua u sraslacu očituje se u tom, da su položeni jedan spram drugoga simetrijski (sl. 489.); t. j. oba individua imaju zajedničku zrcalnu ravninu (sl. 490.), koja ih dijeli u dva jednaka dijela. Zrcalna ravnina, koja dijeli oba sraštena individua u simetrijske di-



Sl. 489.



Sl. 490.



Sl. 489.

jelove, ili prema kojoj su sraslački individui simetrijski položeni, zove se sraslačka ravnina. Ako istražujemo, koja je to ravnina, uvijek ćemo naći, da je to jedna od onih ploha, koje su na kristalu nazočne ili su na njemu moguće; takva ploha ima obično male indekse. Nikada sraslačka ravnina ne može biti ona ravnina, koja je u pojedinom sraslačkom individuu ravnina simetrije, pošto bi u takvom slučaju došlo do razvitka t. zv. paralelnoga sraštenja (51). Tako na pr. u monoklinskom sustavu može da bude sraslačka ravnina svaka ploha, samo ne ploha klinopinakoida  $\{010\}$ , jer je ona ravnina simetrije.

Do simetrijskoga položaja sraslačkih individua može doći na tri načina:

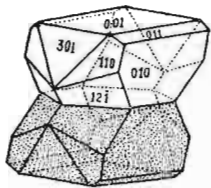
1. Oba se sraslačka individua tako srastu, da zauzmu jedan spram drugoga protivan položaj; pri tom ostaju njihove zone zajedničke te su plohe jednoga individua paralelne plohama drugoga individua, kako se to razabira kod sraslaca hemimorfita (sl. 491.), gdje je sraslačka ravnina osnovni pinakoid  $\{001\}$ . Takva vrsta sraslaca moguća je samo kod kristala bez centra simetrije.

2. Do simetrijskoga položaja sraštenih individua može doći na taj način, da se jedan individuum zaokrene spram drugoga za  $180^\circ$  (sl. 489.). Kristale takve vrste zovemo hemitropnim kristalima. Os, oko koje se zaokrene jedan sraslački individuum spram drugoga za  $180^\circ$ , da dodju u medjusoban simetrijski položaj, zove se sraslačka os ili os okretaja; ona stoji okomito na sraslačkoj ravnini. Kod gipsovih sraslaca (sl. 490.) je na pr. sraslačka ravnina ploha ortopinakoida  $\{100\}$ , a sraslačka os okomica na ortopinakoid.

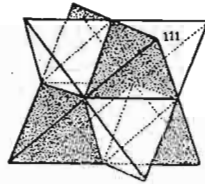
3. Oba sraslačka individua tako su se srasla, da su zauzela simetrijski položaj spram jedne kristalne plohe. Sraslac dijamanta na pr. pokazuje sraslačke individue u simetrijskom položaju prema plohi heksaedra  $\{100\}$  (sl. 492.).

bez centra  
simetrije

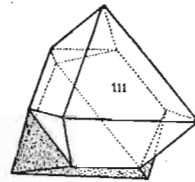
Kad kod pojedinih sraslaca određujemo sraslačku ravninu, kad navodimo njene indekse, onda govorimo o *sraslačkom zakonu* nekoga minerala. Minerali na pr. grupe spinela pojavljuju se u sraslacima, gde je sra-



Sl. 491.



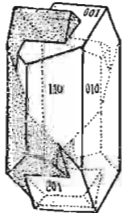
Sl. 492.



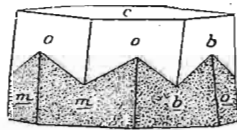
Sl. 493.

slačka ravnina ploha oktaedra (sl. 493.), pa velimo za njih, da se kristalizuju u sraslacima po spinelskom zakonu. Isticanjem sraslačkoga zakona ističemo sraslačku ravninu. Ortoklas se može razviti u sraslacima po karlovarskom<sup>1)</sup> zakonu (sl. 494.), t. j. ravnina, prema kojoj su srašteni individui simetrijski položeni, jest ploha ortopinakoida (100). Biotiti od Džepa i Brestovačke Banje u Srbiji pojavljuju se u sraslacima po srpskom zakonu, t. j. dva biotitna individua zaokrenula su se jedan spram drugoga za 30° i prodiru jedan u drugoga sad jače sad slabije imajući stalno osnovni pinakoid (001) paralelan (sl. 495.).

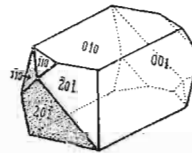
Jedan te isti mineral može se srasti po više sraslačkih zakona. Ortoklas, za koga smo kazali, da se pojavljuje u sraslacima po karlovarskom zakonu, pojavljuje se još u sraslacima po bavenskom<sup>2)</sup> zakonu (sl. 496.),



Sl. 494.



Sl. 495.



Sl. 496.

gdje je sraslačka ravnina ploha klinodome (012), i u sraslacima po manebachkom<sup>3)</sup> zakonu (sl. 497.), gdje je sraslačka ravnina ploha osnovnoga pinakoida (001). Ali medju sraslacima ima i slučajeva, da se ne srastu medju sobom samo pojedini kristalni individui, nego i sraslaci sa sraslacima, dakako i opet po izvjesnom sraslačkom zakonu; takvu vrstu sraslaca, gdje

<sup>1)</sup> Po Karlovim Varima u Čehoslovačkoj, gdje takvi sraslaci dolaze u lijepo razvitim primjercima.

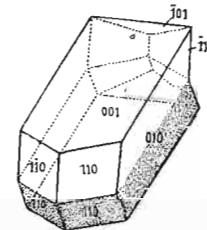
<sup>2)</sup> Po mjestu Baveno u Italiji, gdje se nalaze vrlo lijepo razviti ortoklasovi sraslaci.

<sup>3)</sup> Po mjestu Manebachu u Njemačkoj, gdje su se razvili lijepi sraslaci.

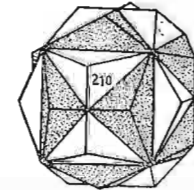
su se srasli sraslaci sa sraslacima, zovemo *dvostrukim sraslacima*. Dvostruki su sraslaci dosta česti medju glinencima (feldšpatima), gdje se na pr. dva ortoklasova karlovarska sraslaca srastu u dvostruki sraslac po bavenskom zakonu; ili dva polisintetska albitna sraslaca kojega plagioklasa, koji se srastu po karlovarskom zakonu. Dvostruki sraslaci plagioklasa vrlo su važni za optičko određivanje pojedine vrste plagioklasa.

**47. Sraslaci mogu da zauzmu jedan spram drugoga različan simetrijski položaj.** S obzirom na međusoban položaj sraslaca mogu se oni tako srasti, da su im kristalne osi međusobno paralelne ili da su međusobno nagnute.

*Sraslaci sa paralelnim osima* mogući su samo u hemiedrijskim, tetartoedrijskim i ogdoedrijskim kristalima. U takvim sraslacima zauzimaju sraslački individui jedan spram drugoga položaj, koji odgovara položaju njihovih korelatnih formi u holodru, iz koga su postali; kod njih je uvijek sraslačka ravnina jedna od onih ravnina simetrije, koje su se izgubile. Tako se mogu srasti dva tetraedra zaokrenuvši se jedan spram drugoga za 90°, što odgovara položaju obih korelatnih tetraedara prema oktaedru (sl. 492.). Na taj način vraćaju se hemiedrijskim, tetartoedrijskim i ogdoedrijskim sraslacima njihove simetrije, koje su kao individui samci izgubili. Kod tetraedrovih sraslaca vidimo na pr., da su zauzeli međusobno simetrijski položaj spram plohe heksaedra, dakle spram ravnine simetrije, koju su kao samci izgubili, t. j. kod njih je sraslačka ravnina ploha heksaedra. Dva



Sl. 497.



Sl. 498.

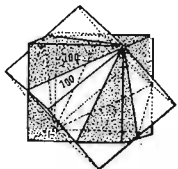


Sl. 499.

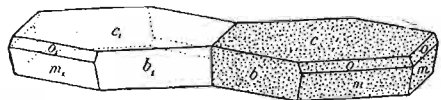
pentagonska dodekaedra srastu se smjerom plohe rompskoga dodekaedra (sl. 498.), jer ta ploha odgovara onim ravninama simetrije, koje su se u pentagonskom dodekaedru izgubile; tome su se sraslacu vratile izgubljene ravnine simetrije. Isto vidimo i kod sraslaca hemimorfita (sl. 491.), da im se vratila izgubljena ravnina simetrije; oni su se srasli smjerom plohe osnovnoga pinakoida. Takve sraslaci, kojima se vraća stupanj simetrije, koji su bili izgubili, zovemo *sraslacima dopuncima*. Kadikad se sraslaci dopunci razvijaju u takvim formama, da su posvema jednaki holodru; ali da to nisu holodri, nego pseudoholodri, pseudosimetrijski likovi, možemo

se uvjeriti istražujući njihova fizička svojstva, na pr. kalavost ili optička svojstva. Osobito će optička svojstva lako otkriti sraslačku prirodu kod minerala optičko anizotropnih, kad ih posmatramo u paralelnom polarizovanom svjetlu medju unakrštenim nikolima: u zgodnom položaju bit će tada jedan sraslački individuuum osvjetljen, a drugi taman (sl. 499.).

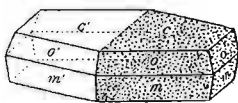
*Sraslaci sa medjusobno nagnutim osima* pojavljuju se medju holodrima, ali i medju hemiedrima (tetartoedrima i ogdoedrima). Kod njih može biti sraslačka ravnina ili paralelna sa kojom kristalnom plohom, na pr. sraslac fluorita, gdje je sraslačka ravnina paralelna sa plohom oktaedra (sl. 500.); ili okomita na kojoj kristalnoj plohi, na pr. sraslac biotita, gdje je sraslačka ravnina okomita na plohu osnovnoga pinakoida (sl. 501., 502., 503.); ili je okomita na bridovima, na pr. sraslac anortita, gdje je sraslačka ravnina okomita na bridove ploha *Pthy* (sl. 504., 505.). Dok se kod sraslaca hemiedrijskih kristala (sraslaci sa paralelnim osima) stupanj simetrije povisio, to se kod sraslaca nekih holodrijskih kristala stupanj simetrije snizio. Tako na pr.



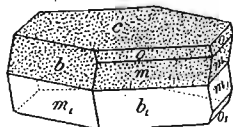
Sl. 500.



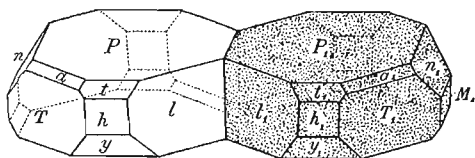
Sl. 501.



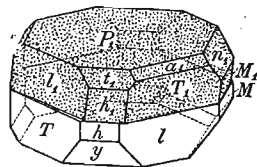
Sl. 502.



Sl. 503.



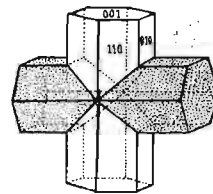
Sl. 504.



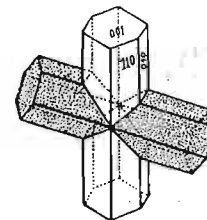
Sl. 505.

oni sraslaci teseralnih holodara, kod kojih je sraslačka ravnina ploha oktaedra, imaju samo 4 ravnine simetrije poput kristala trigonske hemiedrije; u tim je sraslacima sraslačka ravnina (ploha oktaedra) jednaka osnovnom pinakoidu u trigonskoj hemiedriji (sl. 493.).

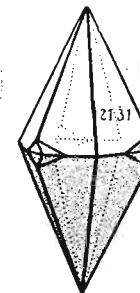
**48. Sraslaci se mogu različito da srastu.** S obzirom na način sraštenja mogu se dva ili više individua tako srastu, da jedan u drugoga prodiru, pa ih zovemo *prodornim ili penetracionim sraslacima*; na pr. sraslaci staurolita, gdje je sraslačka ravnina klinodoma (032) (sl. 506.) ili piramida (232) (sl. 507.); ili se jedan drugoga dodiruju tako, da su jedan uz drugoga prirasli, pa ih zovemo *dodirnim ili jukstapozicionim sraslacima* ili *priraslacima* na pr. sraslaci kalcita (sl. 508.), gdje je sraslačka ravnina bazni pinakoid (0001). U jednom i u drugom slučaju zovemo onu plohu, uz koju su se oba individua srasla, *ravninom sraštenja*. Kadikad se ravnina sraštenja podudara sa sraslačkom ravninom, na pr. kod gipsovih sraslaca (sl. 490.), gdje je sraslačka ravnina i ravnina sraštenja ploha orto-



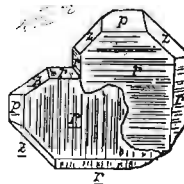
Sl. 506.



Sl. 507.



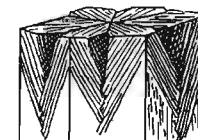
Sl. 508.



Sl. 509.



Sl. 510.



Sl. 511.

pinakoida (100); kadikad je ona okomita na sraslačkoj ravnini na pr. kod karlovarskih sraslaca ortoklasa (sl. 494.), gdje je sraslačka ravnina, kao i kod gipsa, ploha ortopinakoida (100), a ravnina sraštenja ploha klinopinakoida (010); kadikad je ravnina sraštenja posve nepravilna, neravna ploha, kao na pr. kod kremenovih (kvarcovih) sraslaca po japanskom zakonu (sl. 509.), gdje je sraslačka ravnina ploha bipiramide II. reda (1122), a ravnina sraštenja neka posve nepravilna ploha.

Prodorni sraslaci različito zalaze jedan u drugoga; negdje jače negdje slabije. Ali događa se kod nekih sraslaca, da prodru jedan u drugoga tako,

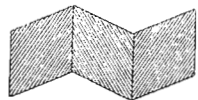
da su potpuno jedan u drugome uklopljeni, pa se pokazuju kao jedan zaseban individuuum; na takvim se sraslacima zapažaju šavovi, koji odaju sraslačku prirodu, kako se često vidi kod kremenovih (kvarcovih) sraslaca po dofinejskom zakonu (sl. 510.), gdje je sraslačka os okomita na plohe protoprizme (10 $\bar{1}$ 0); ili kod aragonitovih sraslaca (sl. 511.), gdje je sraslačka ravnina ploha prizme (110).

Dok su kod proraslaca jedan i drugi individuuum prešli preko sraslačke granice rastući svaki dalje u protivnom smjeru, dotle kod priraslaca individuui nikad ne prelaze preko sraslačke granice, što je čini sraslačka ravnina; došavši do nje prestaju dalje da rastu. Zato su uvijek individuui u priraslacima više ili manje skraćeni u smjeru sraslačke osi; često se događa kod nekih sraslaca, da su individuui tačno za polovicu smanjeni smjerom sraslačke osi (sl. 490., 493., 508.).

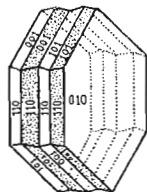
I na prorascima i na priraslacima često vidimo *sraslačke udubine*, koje potiču od nagnuta položaja ploha sraštenih individuua; gdje gdje se udubine nisu razvile, ali se zato na kristalima pojavljuju *sraslački šavovi*, kako smo to malo čas spomenuli kod kremenovih i aragonitovih sraslaca.

**49. U sraslac se može da sraste neodredjen broj individuua.** Neki minerali mogu se razviti i u takvim sraslacima, gdje se srastu više od dva individuua, pa uz sraslace dvojke imamo, trojke, četvorke, petorke, šestorke itd.; t. j. mogu se razviti sraslaci sa vrlo mnogo individuua, kojima je broj neodredjen. Takve sraslace zovemo *mногоstrukim sraslacima*. Ako su mnogostruki sraslaci priraslaci, pojedini se njihovi individuui kadikada skraćuju tako jako, da se pokazuju u prerezu kao tanušne niti, kao *sraslačke lamele*, koje više puta možemo zapaziti tek pomoću mikroskopa (94), na pr. sraslaci plagioklasa (sl. 499.).

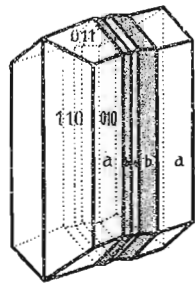
Medjusoban položaj sraslačkih individuua kod mnogostrukih sraslaca dvojak je. U jednom su slučaju sraslačke ravnine kod svih sraslačkih individuua medju sobom paralelne (sl. 512.); svi su se individuui srasli po istom sraslačkom zakonu i kod njih se sve sraslačke ravnine podudaraju uvijek s istom kristalnom plohom, sa plohom istih indeksa. Srastu se na pr. dva



Sl. 512.



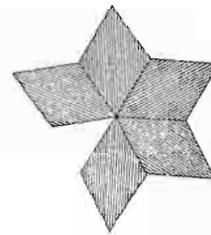
Sl. 513.



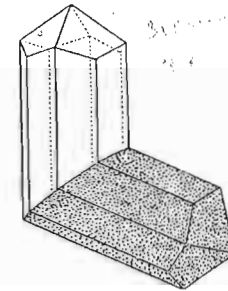
Sl. 514.

individuua; dolazi treći individuuum, koji se sraste sa drugim, ali u položaju kao i prvi individuuum; zatim dolazi četvrti individuuum i sraste sa trećim u položaju kao drugi; peti se sraste sa četvrtim u položaju kao prvi i treći itd. Svi su ti individuui skraćeni u smjeru sraslačke osi i zauzimaju najmanje isti medjusobno paralelan položaj, a sraslačke im se ravnine uvijek podudaraju sa istom kristalnom plohom, sa plohom istih indeksa na pr. kod albitnih je sraslaca (sl. 513.) sraslačka ravnina uvijek ista ploha brahipinakoida (010); ili kod aragonitovih sraslaca (sl. 514.), gdje je sraslačka ravnina ploha prizme (110). Mnogostruke sraslace takve vrste zovemo *polisintetskim sraslacima* ili *povratnim sraslacima*; oni su osobito rašireni kod plagioklasa, gdje su važni kod određivanja pojedine vrste tih minerala; u polisintetskim sraslacima pojedini su se individuui stanjili do tanušnih pločica, koje se u prerezu pokazuju kao uzane lamele. Na plohama polisintetskih sraslaca ili na njihovim kalotinama vide se kadikad sraslačke lamele u formi uzanih pruga, na pr. kod plagioklasa, kod kalcita i t. d.

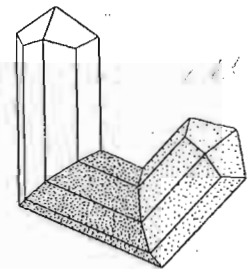
U drugom slučaju sraslačke ravnine izmedju pojedinih sraslačkih individuua nisu paralelne (sl. 515.); svi su se individuui srasli po istom sraslačkom zakonu, ali se njihove sraslačke ravnine ne podudaraju s istom kristalnom plohom, sa plohom istih indeksa. Kod mnogostrukih sraslaca rutila sraslačke se ravnine podudaraju sa plohama deuteropiramide (101); izmedju prva dva sraslačka individuua (sl. 516.) sraslačka se ravnina podudara sa plohom (101); izmedju drugoga i trećega individuua (sl. 517.) podudara se



Sl. 515.



Sl. 516.

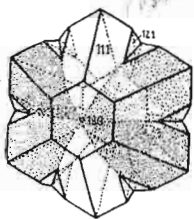


Sl. 517.

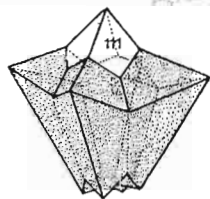
sa plohom (011); izmedju trećega i četvrtoga sa plohom (101); izmedju četvrtoga i petoga sa plohom 0 $\bar{1}$ 1) itd.; sraslačke su dakle ravnine plohe iste kristalne forme, ali plohe raznih indeksa. Posljedica je takova sraštenja razvitak koso sraštenih individuua, koji se pojavljuju kao *prstenasti* ili *zavojiti sraslaci*. Ako se srastu na taj način tri individuua, zavojiti su sraslaci trojci, ako se srastu četiri individuua, četvorci, pet individuua, petorci, šest individuua, šestorci itd. kao na pr. kod rutila.

Kadikad se zavojiti sraslaci pojavljuju u lepezastoj ili u kolastoj formi, na pr. sraslaci trojci hrizoberila (sl. 518.), gdje su prorasla tri individua i srasla se smjerom plohe brahidome (031). Zanimljivi su zavojiti sraslaci petorci kod hausmanita (sl. 519.), gdje su se oko jednoga centralnoga individua simetrijski srasla četiri individua imajući za sraslačku ravninu prema centralnom individuu plohu deuteropiramide (101).

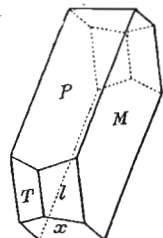
**50. Razvitkom sraslaca može da dodje i do razvitka višega stupnja simetrije.** Govoreći o sraslacima sa paralelnim osima (47), kazali smo, da se razvijaju kao sraslaci dopunci, kojima se vraća stupanj simetrije, što su ga izgubili kao zasebni kristalni individui. Ali do razvitka višega stupnja simetrije dolazi i kod drugih sraslaca. Plagioklasi, koji se kristali-



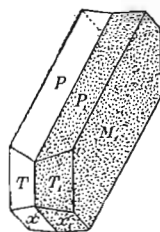
Sl. 518.



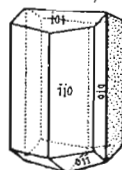
Sl. 519.



Sl. 520.



Sl. 521.

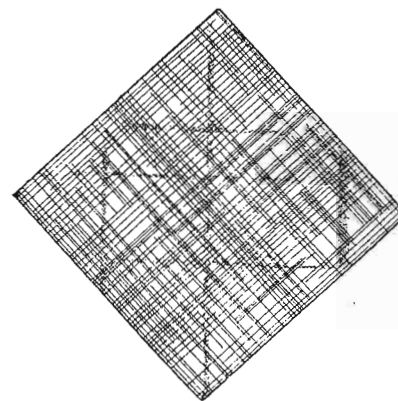


Sl. 522.

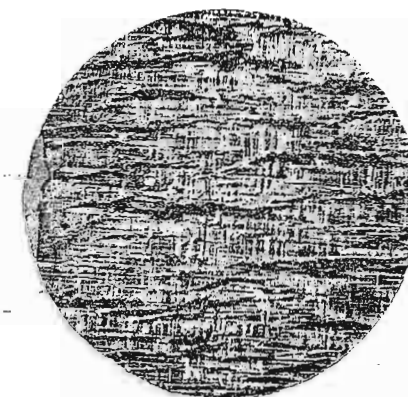
zuju triklinski (sl. 520.), mogu se razviti u sraslacima po albitnom zakonu (sl. 521.), gdje je sraslačka ravnina ploha brahipinakoida (010); takvi sraslaci pokazuju stupanj simetrije monoklinskoga sustava. Monoklinski pirokseni i amfiboli, kad se razvijaju kao sraslaci smjerom plohe ortopinakoida (100), imaju stupanj simetrije rompskoga sustava (sl. 522.). Ako se kod ovakovih sraslaca ne vide ni udubine, ni šavovi (48), onda ih uopće ne možemo na pogled razlikovati od zasebnih kristala; to su pseudosimetrijski likovi, *pseudozasebni kristali*, kojima sraslačku prirodu možemo često puta otkriti pomoću mikroskopa. Ali ima slučajeva, gdje ni mikroskop ne može otkriti, da su to sraslaci. To se događa kod onakovih sraslaca,

koji su sastavljeni od silesije presičušnjih (submikroskopskih) individua, koje ni pomoću mikroskopa ne zapažamo. Tako se čini, da su rompski pirokseni sastavljeni od submikroskopskih individua monoklinskoga sustava, pa bi se oni prema tome kristalizovali monoklinski a ne rompski; isto tako čini se, da je monoklinski ortoklas sastavljen od submikroskopskih individua triklinškoga sustava, pa spada dakle u grupu triklinskih glinenaca. Ima minerala, kojima je baš osobina, da se razvijaju kao pseudozasebni kristali, t. j. kao kristali, koji su sastavljeni od sićušnjih sraslačkih lamela, a izgledaju kao da su zasebni kristali višega stupnja simetrije. *Tu sraslačku pojavu zovemo mimezom,*<sup>1)</sup> a kristale *mimetskim kristalima*.

U lijepim mimetskim kristalima pojavljuje se leucit; njegovi kristali imaju formu gotovo idealnoga deltoidskoga ikozitetraedra tako, da se taj teseralni lik zove po leucitu i leucitoedar. Ali da to nisu zasebni kristali, lako ćemo se osvjedočiti, ako pomoću mikroskopa istražujemo kristalnu prirodu leucita. Tada ćemo se osvjedočiti, da su leucitni kristali sastavljeni od polisintetskih sraslaca, od sićušnjih lamela (sl. 523.), za koje još nije stalno dokazano, pripadaju li tetragonskom, rompskom ili monoklinskom sustavu. Ako leucit ugrijemo iznad 550°, prelazi u teseralnu formu i dakako tada se pokazuje kao jednovit kristal, kao jedan individuum bez ikakvoga traga kakovim sraslačkim lamelama. Kako dodje u temperaturu ispod 550°, raspada se u polisintetske sraslance. U tom su slični leucitu mimetski kristali boracita, koji imaju formu teseralnih zasebnih kristala tetraedrijske hemiedrije. Ali optička istraživanja i izjedine pokazuju, da



Sl. 523.



Sl. 524.

su i boracitovi kristali sastavljeni od polisintetskih sraslaca, od samih sraslačkih lamela, za koje se takodjer tačno ne zna, da li su rompskoga

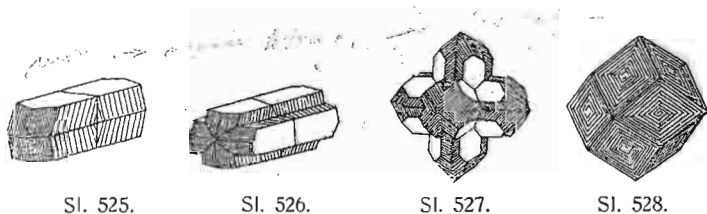
<sup>1)</sup> Od grč. *mimētēs*, onaj koji oponaša.

ili monoklinskoga sustava. U temperaturi iznad  $265^\circ$  postaje boracitov mimetski kristal jedan jedini individuuum svojstava teseralnoga sustava.

Osobito lijepe mimetske kristale nalazimo kod mikroklina. Kristali njegovi pokazuju simetriju monoklinskoga sustava ( $\alpha = 90^\circ 7'$ ,  $\beta = 115^\circ 50'$ ,  $\gamma = 89^\circ 55'$ ), ali u izbrusku pod mikroskopom vidimo, da je svaki mikroklinov kristal sastavljen od bezbroja sitnih sraslačkih lamela (sl. 524.), za koje je *Mallard* dokazao, da su triklinskoga sustava. Sraslačke lamele razvile su se po dva sraslačka zakona: jedan sistem lamela srastao se je po albitnom zakonu, gdje je sraslačka ravnina ploha brahipinakoida (010), drugi sistem lamela srastao se po periklinskom zakonu, gdje je sraslačka ravnina okomita na kristalnu os b, s kojom se podudara sraslačka os. Jedan sistem lamela stoji prema tome gotovo okomito na drugom. Kako je kut između osnovnoga pinakoida (001) i brahipinakoida (010)  $= 89^\circ 55'$ , dakle skoro  $90^\circ$ , to se sraslačke udubine (48) i ne zapažaju.

Minerali, koji se kristalizuju u zavojitim sraslacima, mogu se katkada razviti u pseudozasebnim kristalima, koji su višega stupnja simetrije negoli njihovi zasebni kristali. Kod hrizoberila (sl. 518.) prorasla su tri rompska individua imajući za sraslačke ravnine plohe brahidome {031}, koje čine medju sobom kut od  $60^\circ$ ; na taj način razvio se hrizoberil u pseudozasebnim kristalima sa stupnjem simetrije heksagonskoga sustava. Slično se razvijaju i sraslaci aragonita (sl. 511.), gdje se prorastu tri kristala smjerom ploha prizme {110}; na taj način razvije se aragonit u pseudozasebnoj formi, na kojoj vidimo pseudoheksagonsku prizmu i osnovni pinakoid.

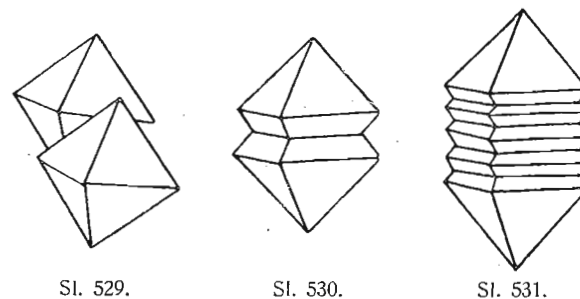
Do razvitka višega stupnja simetrije ili do razvitka pseudozasebnih kristala može doći kod onih sraslaca, koji su sastavljeni od više individua, a ti su se individui srasli po više različitih sraslačkih zakona. Dva monoklinska kristala filipsita srastu se kao proraslaci dvojci smjerom plohe osnovnoga pinakoida (001) i dobiju tako rompsku simetriju (sl. 525.); ova dva proraslaca mogu prorasti kroz druga dva proraslaca u četvorku (sl. 526.) smjerom plohe klinodome (011) i dobiju tako tetragonsku simetriju; po



tri filipsitova četvorka mogu se dalje srastu u dvanaestorce (sl. 527.) smjerom plohe prizme (110) i dobiju tako teseralnu simetriju. Ako na takvim

dvanaestorcima ne dodje do razvitka sraslačkih udubina, razvije se pseudozasebni kristal (sl. 528.), koji ima formu rompskoga dodekaedra.<sup>1)</sup>

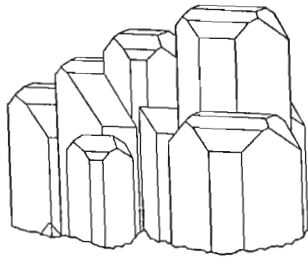
**51. Kristali se paralelno srastu smjerom jedne plohe, koja je ravnina simetrije.** Govoreći o sraslacima kazali smo, da su jedan spram drugoga zauzeli simetrijski položaj s obzirom na sraslačku ravninu; ta je ravnina neka kristalna ploha i ona nikad ne može biti kod sraslaca ravnina simetrije (46). Ali ima kristala jedne te iste mineralne supstancije, koji se srastu simetrijski s obzirom na neku kristalnu plohu, koja je uvijek ravnina simetrije pojedinoga sraštenoga individua. Kod takvoga sraštenja nalaze se srašteni individui medjusobno u potpuno paralelnom položaju tako, da su osi, plohe, bridovi (ivice), uglovi (rogljevi) jednoga kristalnoga individua potpuno paralelni sa osima, ploham, bridovima (ivicama) i uglovima (rogljevima) drugoga kristalnoga individua. Tu vrstu sraštenja zovemo *paralelnim sraštenjem*. Kristali se mogu srasti uz koju god kristalnu plohu; na pr. dva će se oktaedra srasti paralelno i simetrijski smjerom plohe heksaedra uz plohu oktaedra (sl. 529.) ili uz plohu heksaedra (sl. 530.). Ako se srastu paralelno mnogo individua (sl. 531.), dogadja se kod njih isto ono, što i



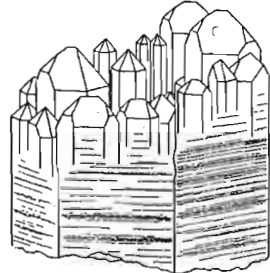
kod polisintetskih sraslaca, t. j. stanje se često puta u tanušne lamele, pa ovako medjusobno srašteni mogu konačno izrasti kao jedan kristal, kome su plohe isprutane od tanušnih lamela sraštenih individua. Negdje se srašteni individui, na pr. kod barita, vide posve jasno, kako stoje paralelno jedan uz drugoga (sl. 532.); negdje se vide samo na jednom kraju, dok su

<sup>1)</sup> O. Mügge: Über die Zwillingbildung der Kristalle. Fortschritte der Mineralogie, Kristallographie und Petrographie, Bd. I., pag. 38. Jenna 1911. — F. Becke: Über die Ausbildung der Zwillingkristalle. Ibidem pag. 68. — G. Tschermak: Zur Theorie der Zwillingkristalle. Mineralogische und petrographische Mittheilungen, Bd. II. pag. 499. Wien 1880. — G. Tschermak: Lehrbuch der Mineralogie. Achte Auflage, pag. 95. — E. Mallard: Explication des phénomènes optiques anomaux que présentent un grand nombre des substances cristallisées. Annales de Mines 7. X. 1876. pag. 60. — R. Brauns: Die optischen Anomalien der Krystalle, Leipzig 1891.

se na drugom kraju kao sili u jedan kompaktan kristal, kako se to često nalazi kod nekih kremenovih (kvarcovih) kristala (sl. 533.). Kod nekih minerala, koji se razvijaju u kristalima prizmatskoga habita, na pr. kod aktinolita ili kod epidota, očituje se paralelno sraštenje takodjer samo na jednoj



Sl. 532.



Sl. 533.

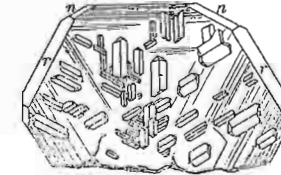
strani i to tako, da je jedna strana posve kompaktna, a druga kao da se raščihala u tanušne prutiće. Kod kamene soli dolazi kadšto do paralelnoga sraštenja na taj način, da se na uglovima heksaedra srastu u paralelnom položaju sitniji heksaedri.

**52. Kristali dviju različitih mineralnih tvari mogu se takodjer pravilno srasti.** Kod sraslaca i kod paralelnoga sraštenja uvijek su se srasli individui iste mineralne tvari. Ali ima u prirodi slučajeva, gdje molekularne i kristalizacijske sile ne djeluju samo na čestice iste vrste, iste mineralne tvari svrstavajući ih u položaj sraslaca ili u položaj paralelnoga sraštenja, nego se njihovo djelovanje protegne i na čestice neke druge mineralne tvari, pa te raznovrsne čestice zauzmu međusobno pravilan položaj, koji se očituje u pravilnom sraštenju kristala dviju različitih mineralnih supstancija. Kad do toga sraštenja dodje, kristali su jednoga i drugoga minerala međusobno tako položeni, da su bar sa jednom plohom i jednim bridom paralelni. Pri tom će se kristali izvjesnih minerala srasti uvijek na isti način; na pr. kristali distena, koji se kristalizuje trikliniski, i kristali staurolita, koji se kristalizuje rompski, srastu se tako, da je ploha makropinakoida (100) distena paralelna sa plohom brahipinakoida (010) staurolita, a isto tako glavna os jednoga i drugoga kristala međusobno su paralelne; na taj samo način dolazi do pravilnoga sraštenja staurolita i distena (sl. 534.). Željezni sjajnik (hematit), koji se kristalizuje u romboedrijskoj hemiedriji, sraste se sa rutilom, koji se kristalizuje u tetragonskoj holoedriji na taj način, da je ploha deuteroprizme (100) rutila paralelna sa plohom osnovnoga pinakoida (0001) hematita, a bridovi prizme rutila teku paralelno bridovima (0001):(11 $\bar{2}$ 0) hematita (sl. 535.). Topaz, koji se kristalizuje rompski, sraste se pravilno sa granatom, koji se kristalizuje

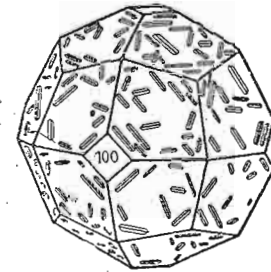
teseralno, tako, da je ploha brahipinakoida (010) topaza paralelna sa ploham deltoidskoga ikozitetraedra {211} granata, a bridovi heksaedra i oktaedra na deltoidskom ikozitetraedru poklapaju se sa prizmatskim bridovima topaza (sl. 536., 537.).



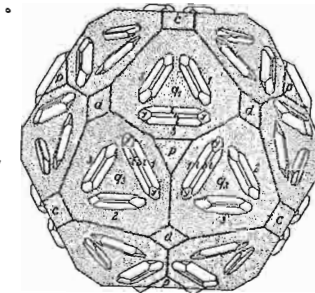
Sl. 534.



Sl. 535.



Sl. 536.



Sl. 537.

Medju mineralima susrećemo ovakovo pravilno sraštenje izmedju halokopirita i galenita, izmedju galenita i sfalerita, izmedju pirita i markazita, izmedju olivina i nefelina, izmedju ortoklasa i albita, izmedju kremenca i kalcita i t. d.

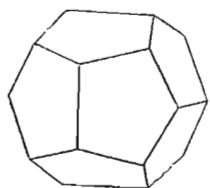
Do pravilnoga sraštenja kristala različitih mineralnih tvari možemo doći i vještačkim putem. Metnemo li u prezasićenu otopinu natrijskoga nitrata kalcitov romboedar ili svježu kalotinu kalcitova romboedra, kristalizingovat će se na ploham i bridovima kalcita u paralelnom položaju gotovo posve jednaki romboedri natrijske salitre (nitrata).

Medju ovu vrstu pravilnoga sraštenja mogli bismo uvrstiti i onakova pravilna sraštenja, gdje se samo na izvjesnim kristalnim ploham nekoga minerala okupljaju kristali drugoga minerala. Tako se nadje adularovih kristala, kod kojih su plohe prizme {130} hrapave i posute gušće ili rjedje listićima klorita, dok su ostale njegove plohe glatke i bez kloritovih listića; kloritova se dakle tvar sakuplja samo na izvjesnim ploham.

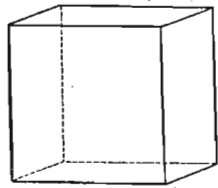


## Vanjština kristala.

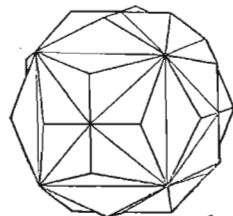
**53. Izvanje prilike utiču znatno na vanjštinu kristala.** Toliko smo puta naglašavali, da su sva svojstva nekoga minerala zavisna o njegovoj strukturi (unutrašnjoj gradnji). Svaki mineral, koji se kristalizuje, ima svoju zasebnu strukturu i ona je za svaku mineralnu vrstu stalna, pa razvijao se mineral uz koje mu drago prilike. Kristali, na pr. pirita, što su se razvijali iz magme, jednake su strukture kao i kristali pirita, što su se razvijali iz vodenih otopina, ali ipak njihova vanjština, njihovo lice nije uvijek isto. Piriti na pr. iz Bakovića kod Fojnice u Bosni pojavljuju se većinom u pentagonskim dodekaedrima (sl. 538.), a piriti Zagrebačke Gore u heksaedrima (sl. 539.), dok se oni piriti iz Dabašnice u Lici razviše u sraslacima željeznoga krsta (sl. 540.). U čemu leži uzrok toj razlikosti? U izvanjim prilikama, u kojima se nalazila neka mineralna tvar za vrijeme svoje kri-



Sl. 538.



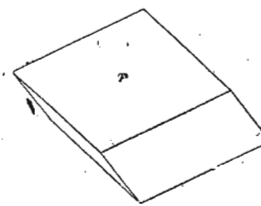
Sl. 539.



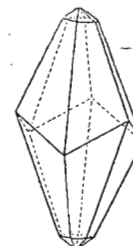
Sl. 540.

stalizacije. Kako djeluje okoliš na razvitak organizovanih bića, biljke i životinje, tako je nekako od uticaja i na razvitak minerala. Spomenuli smo jednom, da temperatura i tlak, dakle izvanji uticaji, djeluju na sam način poredjaja mineralnih čestica, pa se neka mineralna tvar može razviti sa različitom strukturom, na pr. ugljik, koji se kristalizuje jednom kao dijamant, drugi put kao grafit (36). Kako utiču fizičke prilike na način kristalizacije, utiču isto tako i kemijske prilike, u kojima se nalazi neki mineral za trajanja kristalizacije. Iz čiste otopine izrast će kristal u drugoj formi nego li iz otopine; u kojoj se nalaze različite mineralne tvari. Kamenu so NaCl nalazimo u prirodi kristalizovanu redovito u heksaedrima; vrlo rijetko kristalizuje se taj mineral u kojoj drugoj teseralnoj formi, na pr. u oktaedrima, kakovi dolaze u karnalitu od Leopoldshalla ili oko sodnih jezera u Egiptu. Pokusima je dokazano, da će se iz čiste otopine natrijskoga klorida iskristalizovati ta tvar u heksaedrima; dodamo li toj otopini još kalcijevskoga klorida  $\text{CaCl}_2$  i magnezijevskoga sulfata  $\text{MgSO}_4$ , iskristalizovat će se ona u oktaedrima. Jednako će se iz otopine natrijskoga klorida, kojoj smo dodali prezasićenu otopinu natrijskoga karbonata  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , iskristalizovati natrijski klorid u sitnim oktaedrima. A Knop pustio je, da se iz mokraće kristalizuje

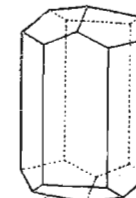
natrijski klorid, pa se iskristalizovao u formi heksakisoktaedra. Gorka so  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , koju nalazimo na pr. po gipsnim rudnicima u Samoborskoj Gori u lijevim vlasastim kristalima, kristalizuje se iz čiste svoje otopine u formi igličastih kristala bez terminalnih ploha; dodamo li otopini boraksa  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ , iskristalizovat će se gorka so u velikim krupnim kristalima. Kalcit  $\text{CaCO}_3$  kristalizuje se iz čiste svoje otopine u osnovnom romboedru (sl. 541.), ako se u toj otopini nalazi kojega alkalijskoga silikata, iskristalizovat će se kalcit u kristalima, koji su kombinacije raznih kristalnih forma (sl. 542., 543.). Najmanje količine tuđe mineralne tvari utiču na otopinu kalcijevskoga karbonata, da se ne razvije kalcit u osnovnom romboedru, nego u drugim formama. Zato u prirodi i nalazimo vrlo rijetko kalcit u formi osnovnoga romboedra; najviše se razvio u tupim i šiljatim romboedrima i skalenoedrima.<sup>1)</sup>



Sl. 541.



Sl. 542.



Sl. 543.

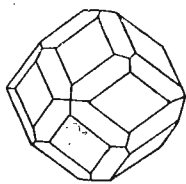
Fizičko-kemijske prilike, u kojima se nalazi neka mineralna tvar za trajanja svoje kristalizacije, mogu biti od uticaja i na razvitak sraslaca. Pojava zasebnih kristala i sraslaca nekoga minerala na jednom te istom nalazištu, na pr. pojava zasebnih kristala pirita i njegovih sraslaca kod Dabašnice u Lici, govore, da bi tome različitom razvitku mogla biti uzrok neznatna promjena u temperaturi. Zaključujemo to iz pokusa sa kristalizacijom kalijevskoga klorida KCl; na oko uz iste prilike kristalizuje se kalijevski klorid jednom u zasebnim kristalima, drugi put u proraslacima, a uzrok će tome biti, sva je vjerojatnost, u posve neznatnim promjenama temperature, uz koju se je kalijevski klorid kristalizovao. Da i kemijska priroda otopine utiče na razvitak sraslaca, dokazao je pokusima kod litijevskoga sulfata  $\text{Li}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  talijanski mineralog Scacchi; iz čiste otopine kristalizuje se litijevski sulfat u zasebnim kristalima u monoklinskoj hemimorfiji; ako toj otopini dodamo kalijevskoga sulfata  $\text{K}_2\text{SO}_4$ , kristalizuje se litijevski sulfat u sraslacima.<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> R. Brauns: Chemische Mineralogie, pag. 138.

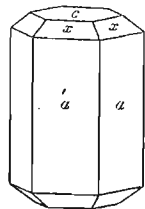
<sup>2)</sup> O. Mügge: Ueber die Zwillingbildung der Kristalle. Fortschritte der Mineralogie, Kristallographie und Petrographie, Bd. I. pag. 56.

✓ 54. Lice kristala jednoga te istoga minerala može biti vrlo različito. Kad smo govorili o razvitku idealnih i razvučenih kristala, kazali smo, da njihov razvitak zavisi o načinu pritanja mineralne tvari k pojedinim kristalnim plohama, bridovima (ivicama) i uglovima (rogļevima), koji rastu (9). O brzini rasteња zavisio je i razvitak kristalnih skeleta (10), a o toj će brzini zavisiti uopće lice kristala. Kod razvučenih kristala, koji su postali tako, da su neke istovrsne plohe rasle brže, neke polaganije, može se dogoditi, da koja od istovrsnih ploha biva sve manja i manja, dok napokon posvema ne iščezne. Na taj će se način razviti ne samo razvučeni kristal, nego kristal sa nepotpunim brojem ploha, na pr. oktaedar sa 7 ploha. Kristale, koji su se razvili sa nepotpunim brojem istovrsnih ploha zovemo *meroedrijskim*<sup>1)</sup> kristalima, a samu pojavu *meroedrijom*. Tako se na pr. može razviti kremen, koji mjesto 6 romboedrijskih ploha,  $r$  ( $10\bar{1}1$ ) i  $z$  ( $01\bar{1}1$ ), ima lijepo razvite plohe pozitivnoga romboedra  $r$  ( $10\bar{1}1$ ), a od negativnoga romboedra  $z$  ( $01\bar{1}1$ ) pojavljuje se tek po koja ploha. Takvih meroedrijskih kremenovih kristala nalazimo dosta često u željeznom rudniku kod Ljubije u Bosni.

Kod kristala sa jednakim osima, dakle kod teseralnih kristala, može se dogoditi da je brzina rasteња ojednaka u smjeru kristalnih osi; takav način rasteња dovodi do razvitka *kuglastih kristala*, koju formu znadu imati na pr. neki granatovi kristali (sl. 544.). Kod kristala sa nejednakim osima može se razvijati rasteње u smjeru jedne osi brže ili polaganije negoli u smjeru ostalih osi: takav način rasteња dovodi do razvitka stubastih ili do razvitka pločastih kristala. Apatit, na pr. može da raste mnogo brže u smjeru glavne osi, negoli u smjeru suosi, pa će plohe osnovnoga



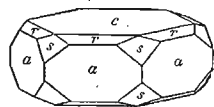
Sl. 544.



Sl. 545.



Sl. 546.



Sl. 547.

pinakoida izrasti mnogo manje, negoli plohe prizme, koje će biti oduljene i široke, t. j. razvit će se *stubasti kristali* ili *kristali prizmatskoga habita* (sl. 545.). Stubasti ili prizmatski kristali mogu se razviti u posvema tanušnim formama, pa onda govorimo o *prutičastim*, *igličastim* i  *vlasastim kristalima*. U igličastim kristalima može se razviti na pr. turmalin, cirkon (sl. 546.), apatit, rutil i t. d. U prutičastim i vlasastim kristalima rado se

<sup>1)</sup> Od grč. *mēros*, dio.

razvijaju neki amfiboli (aktinolit), koji se stanje kadikad u vrlo fina vlakanca (azbest); u vlakancima se zna razviti i epidot, milerit i t. d. Vlasasti kristali razvijaju se na svojim krajevima najčešće bez kristalnih (terminalnih) ploha.

Ali apatit može da raste mnogo brže u smjeru svojih suosi negoli u smjeru glavne osi; posljedica će takvoga rasteња biti razvitak osnovnoga pinakoida sa širokim plohama, a prizme sa uskim plohama; t. j. razvit će se *pločasti kristal* (sl. 547.). U pločastim kristalima rado se razvijaju neki plagioklasi, barit, tinjci (liskuni), hematit, apofilit i t. d.

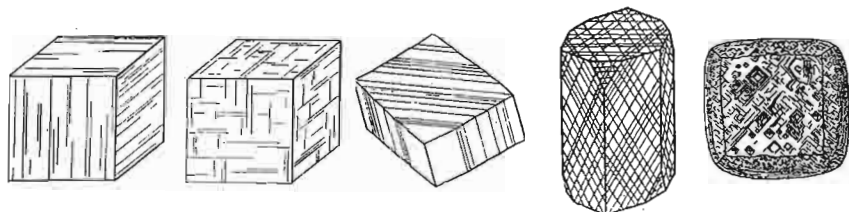
Ako uočimo, da se jedan te isti mineral, ali sa raznih nalazišta, može razviti u stubastim (igličastim, vlasastim) i pločastim kristalima, moramo zaključiti, da je uzrok tom njegovom različitom kristalnom habituu u izvanjnim prilikama, koje su uticale na način rasteња pojedinih kristalnih ploha. Djelovanjem dakle izvanjih prilika kristali su primili izvjesno lice, koje je upravo značajno za minerale nekoga nalazišta. Kad bi se kristali nekoga minerala razvijali svagdje uz iste prilike, bili bi svagdje i jednake vanjštine. Ali te su prilike na različitim mjestima različite. Negdje je možda otopina, iz koje se kristal razvija, gušća, negdje rjedja; negdje je sastavljena od različitih mineralnih tvari; negdje su možda samo dvije ili tri mineralne otopine zajedno izmiješane, negdje je temperatura ili tlak bio viši, negdje niži i t. d.<sup>1)</sup>

55. Površina kristalnih ploha može biti vrlo različita. Pri kristalizaciji raste kristal u raznim smjerovima raznom brzinom, dok konačno ne izraste u poliedarsko tijelo pravilne unutrašnje gradje, koje je omedjeno ravnim plohama (7). Te ravne kristalne plohe znadu biti katkada posvema glatke i sjajne, ali dosta često one su mutne, hrapave, prutaste, stepeničaste, svinute i t. d. Mutna i hrapava površina ploha potiče ili od čestica, koje je kristal na svojoj površini uklopio ili od nejednoličnoga rasteња plohe ili od sićušnih subindividua, koji su se paralelno srasli i u takvom položaju izgradjuju kristal, na pr. kristali fluorita, dolomita, siderita, kriolita. Prutaste plohe, koje su vrlo česte, a katkada za prepoznavanje kristala od važnosti, potiču najviše od mnogostrukoga ponavljanja tanušnih bridova, koji su postali od naizmjeničnih kombinacija dviju ploha. Tako su na pr. plohe kremenove prizme redovito sastavljene od horizontalnih prutanja; po tom prutanju lako ćemo prepoznati kremenov kristal i onda, ako od njega imamo tek koji dio. Prutanja potiču od izmjeničnih kombinacija prizme ( $10\bar{1}0$ ) i jednoga romboedra ( $40\bar{4}1$ ). Isto su tako plohe piritova heksaedra redovito prutane; prutanja su paralelna naizmjenice sa dva heksaedrova brida (sl. 548.) a potiču od tankih bridova, što su nastali naizmjeničnom kombinacijom heksaedra i jednoga pentagonskoga dodekaedra. Kod fluorita (sl. 549.)

<sup>1)</sup> Tertsch: Neuere Studien über Kristalltrachten. Fortschritte der Mineralogie, Kristallographie und Petrographie. Bd. II. pag. 41. Jena 1912.

vidimo katkada plohe heksaedra isprutane smjerom sva četiri heksaedrova brida tako, da se na svakoj plohi heksaedra vidi sistem kvadratičnih prutanja; prutanja potiču od bridova, što su nastali kombinacijom heksaedra i jednoga tupoga tetrakisheksaedra. Kristali turmalina redovito su vertikalno isprutani od bridova, što su nastali kombinacijom prizmatskih ploha.

Negdje mogu nastati prutaste plohe i od sraslačkih lamela, na pr. kod plagioklasa, kalcita (sl. 550.), korunda (sl. 551.) i t. d., a negdje od translacije, na pr. kod antimonita.



Sl. 548.

Sl. 549.

Sl. 550.

Sl. 551.

Sl. 552.

Svinute plohe mogu postati od mnogo uskih ploha, koje leže u jednoj zoni, pa se pričinjaju, kao da su se slile u jednu plohu; tako se prikazuju kadikad kristali turmalina, kao da su sastavljeni od svinutih ploha prizme. Neki su se minerali razvili u pravim svinutim ploham, na pr. dijamant, gdje su kristalne plohe konveksno (sl. 552.) svinute; ovakvo svijanje dijamantnih ploha posljedica je slijevanja vicinalnih ploha u jednu plohu. Kod siderita su plohe romboedra konkavno svinute (to su t. zv. sedlaste plohe).

Neravnost površine kristalnih ploha uzrokuju i vicinalne plohe (22), pa pravilno sraštenje tuđih mineralnih tvari smjerom neke kristalne plohe (52). Kod nekih kristala nalazimo hrapavih i neravnih ploha, koje su se razvile kao otisci ploha nekoga kristala, na koga je kristal nabasao pri svome raste. Tako se na kristalima kremena nadje neravna i hrapava ploha, koja bi na oko odgovarala osnovnom pinakoidu, ali nije ništa drugo nego otisak plohe kalcitova kristala, do koga je pri svome raste došao kremen i nije mogao u tom smjeru dalje da raste.

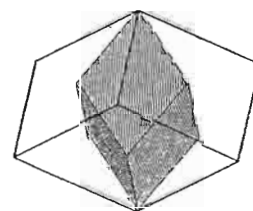
Kako se mogu plohe da pojave u svinutim formama, tako se mogu pojaviti i bridovi. Tamo gdje bridovi nisu oštri, izgledaju kristali kao da su na površini otopljeni; takvi su kristali onda kao zaobljeni, na pr. neki kristali galenita, apatita, augita i granata.

### Poremećaj homogenosti kristala.

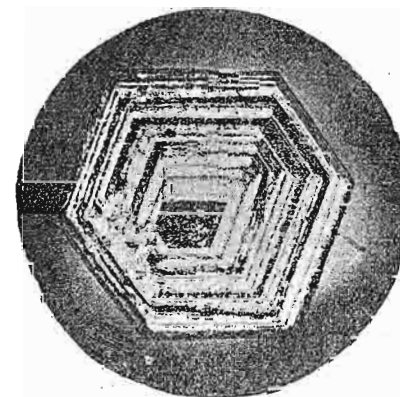
Ispitivanje prirode kristala pokazalo je, da su oni fizički i kemijski potpuno homogena tijela, t. j. u svakom svom i najmanjem dijelu oni su jednakih fizičkih i kemijskih svojstava (7). No ta je homogenost kristala često puta poremećena ili na taj način, da se je tokom razvitka kristalova

mijenjala priroda otopine, iz koje se je kristal razvijao, pa je on izrastao od kemijski sličnih, ali ne jednakih, dijelova; ili su tokom kristalova razvitka ušle u nj neke tuđe mineralne tvari te mu poremetile homogenu prirodu.

**56. Kristali mogu biti sastavljeni od dijelova, koji su kemijski manje ili više različiti.** Imali smo prilike, da kažemo, kako će se kristal razviti u onoj formi, sa kojom je počeo svoj razvitak, ako su samo fizičko-kemijske prilike do kraja njegove kristalizacije bile konstantne (11). Dodje li tokom kristalizacije do promjene ili fizičke ili kemijske, doći će do promjene i u sastavu kristala i on će u jezgri biti drugačiji negoli u dijelovima prema periferiji. Kadikad je jezgra kemijski potpuno jednaka dijelovima prema periferiji i u tom je slučaju kristal potpuno homogen. Ali može biti jezgra kemijski nešto drugačija od perifernih dijelova i kristal nije više homogen. Neki fluoriti na pr. kristalizuju se u početku u formi oktaedra, koji je posve bezbojan; no prilike se kasnije nešto promijene i mjesto oktaedra stane se razvijati heksedar, ali ne bezbojan nego ljubičaste boje, te se napokon razvio fluoritov kristal kao ljubičasti heksedar, u kom je uklopljen bezbojni oktaedar. Jasno je, da će se bezbojni oktaedar kemijski razlikovati od bojadisanoga heksaedra, komu je neka tvar dala ljubičastu boju; t. j. kristal fluoritov nije više kemijski homogen. Gdje se se razvio fluorit u žutom heksaedru sa mutno bijelom ili sa ljubičastom jezgrom; ili u bezbojnom heksaedru sa modrom jezgrom. Neki kristali kalcita (sl. 553.) razvili su se u formi bezbojnoga osnovnoga rom-



Sl. 553.



Sl. 554. Zonarno gradjeni kristal granata posmatran u prerezu pod mikroskopom.

boedra  $R \{10\bar{1}1\}$ , komu je jezgra sastavljena od šiljatoga smedjega ili žutoga romboedra —  $2R \{02\bar{2}1\}$ . Kod ovako gradjenih kristala jezgra je kristalografski drugačija od dijelova prema periferiji.

No ima medju kristalima i takovih, što su sastavljeni od jezgre, oko koje se slažu lupine ili ovoji, koji su kristalografski jednaki jezgri, ali se razlikuju i medju sobom i od jezgre po svom kemijskom sastavu, na pr. neki kristali granata (sl. 554.). Razvitak tako gradjenih kristala moguć je kod onih mineralnih tvari, koje se kristalizuju kao izomorfne smjese (111) i on je posljedica postepenoga mijenjanja kemijskoga sastava otopine, iz koje se kristali razvijaju.

Kod plagioklasa na pr. mogu postati zonarni kristali tako, da se u prvom stanju kristalizacije razvije bazična jezgra sa pretežitom količinom anortitne tvari  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ . Kako se otopina postepeno kristalizuje, postaje sve kiselija (127), t. j. njezin se kemijski sastav postepenom kristalizacijom mijenja; kalcija se sve više troši na kristalizaciju anortitne tvari tako, da u otopini biva sve više natrija, koji ulazi takodjer u sastav plagioklasa kao izomorfna smjesa, kao albit  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ . U kasnijem stepenu kristalizacije razvijaju se iz otopine plagioklasi, koji imaju sve više albitne, a manje anortitne tvari, te se na kraju iskristalizuje plagioklas kao izomorfna smjesa, koja je u središnjim dijelovima sastavljena pretežito od anortitne, a na rubovima pretežito od albitne tvari; jezgra zna biti sam anortit, a rub sam albit; izmedju jezgre i ruba vidi se s pomoću mikroskopa čitav sklop debljih i tanjih lupina, koje pripadaju pojedinim članovima niza plagioklasove grupe. Ovako gradjene kristale zovemo *lupinastim* ili *zonarno gradjenim kristalima*.

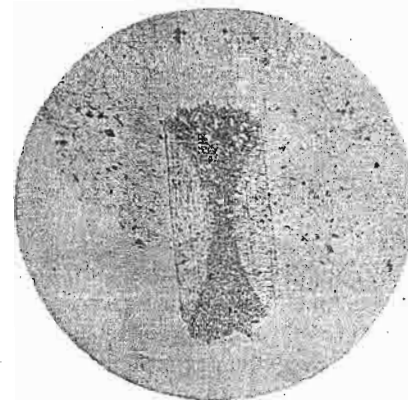
Lupinaste kristale nalazimo i kod piroksena, granata, turmalina i t. d. Ako ovi minerali imaju u svom sastavu po koji kovinski oksid, od koga potiče izvjesna boja, pojedine će lupine i pojedini dijelovi kristala biti različito bojadisani, pa se lupinasta gradnja vidi već golim okom. Lijep primjer takve lupinaste gradnje daju turmalinovi kristali. Kod turmalina se izmjenjuju u pojedinim lupinama kao izomorfni spojevi oksidi željeza, mangana, kroma. Svaka lupina u turmalinu druge je boje, jer je i drugoga kemijskoga sastava; boja će zavisiti o vrsti i količini metalnoga oksida, pa će neke lupine biti crvene, neke ružičaste, neke zelene, neke smeđe, neke crne i t. d. Gdje se razviju turmalinovi kristali tako, da su samo na jednom kraju bojadisani, dok je ostali dio kristala bezbojan. Takvih turmalina nalazimo u krečnjacima iznad Obrovca u Dalmaciji, gdje su se razvili u mikroskopski sitnim kristalićima.

I ako kod lupinastih kristala pojedine lupine poremećuju homogenost cjeline kristala, ipak je svaka lupina sama za sebe potpuno homogena, ona se pojavljuje kao izomorfna smjesa, ali svoga stalnoga kemijskoga sastava, koji se razlikuje od kemijskoga sastava drugih lupina.

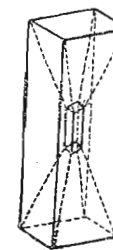
Lupinaste kristale možemo dobiti i vještačkim putem. Ako na pr. oktaedar kromnoga alauna, koji je od kroma mrko bojadisan, stavimo u otopinu kalijskoga alauna, nastavit će oktaedar svoje rastenje primajući

čestice kalijskoga alauna, pa će tako izrasti oktaedar, koji je sastavljen od mrke jezgre kromnoga alauna i bezbojnoga ovoja kalijskoga alauna. Ako stavimo kristal gorke soli naizmjenice nekoliko puta u otopinu gorke soli, kojoj smo dodali kobaltne galice, pa zatim u čistu otopinu gorke soli, izrast će kristal, koji je sastavljen od kristalografski jednakih ali kemijski različitih lupina, od kojih su jedne bezbojne, a druge bojadisane.

Lupinastim kristalima slični su donekle i kristali t. zv. *priraslih piramida*, u kojima se kristalizuju kadikad neki minerali, na pr. augit, otreilit i t. d. Bečki mineralog *F. Becke*<sup>1)</sup> tumači razvitak kristala „priraslih piramida“ tako, da se pri rastenju kristala slažu čestice mineralne tvari u paralelnim slojevima na pojedine kristalne plohe (sl. 555.). Ti paralelni slojevi, što leže na svakoj pojedinoj kristalnoj plohi, sastavljaju po jednu „priraslu piramidu“ kojoj je vrh okrenut prema središtu, gdje je kristal počeo da raste, a baza joj je izvanja ploha, koja se razvila kao zadnji sloj pri kraju kristalizacije (sl. 556.). Na taj je način sastavljen kristal od toliko „priraslih piramida“



Sl. 555. Prirasle piramide otreilita posmatrane u prerezu pod mikroskopom.



Sl. 556.

koliko ima ploha. „Prirasle piramide“, koje imaju za bazu istovrsne kristalne plohe, iste su vrste. Tako će na pr. heksaedar biti sastavljen od 6, oktaedar od 8 „priraslih piramida“, koje će kod heksaedra biti iste vrste, jer su i 6 ploha heksaedra iste vrste, a isto će tako biti iste vrste i kod oktaedra, jer su sve oktaedrove plohe iste vrste. Ako je kristal sastavljen od raznovrsnih ploha, bit će i „prirasle piramide“ raznovrsne; na pr. ako je kristal „priraslih piramida“ rompskoga sustava, pa je kombinacija prizme

<sup>1)</sup> *F. Becke*: Der Aufbau der Krystalle aus Anwachskegeln. Lotos 1894. Bd. 14. p. 1. — *J. Blumrich*: Ueber die sogenannte Sanduhrform der Augite. Mineralogische und petrographische Mittheilungen. 1892. Bd. 13. pag. 239.

i osnovnoga pinakoida, razvit će se dvije istovrsne „prirasle piramide“, kojima su baze plohe osnovnoga pinakoida i četiri istovrsne „prirasle piramide“, kojima su baze plohe prizme.

Ako je kristal sastavljen od raznovrsnih „priraslih piramida“, može se dogoditi, da su pojedine istovrsne „prirasle piramide“ među sobom istoga kemijskoga sastava, t. j. jedne su jednoga, druge drugoga kemijskoga karaktera. Ako takve piramide imaju u svom sastavu kovinskih oksida, koji ih bojadišu, bit će „prirasle piramide“ različito bojadisane: istovrsne jednako, raznovrsne različito. Ako na pr. od augita, koji je sastavljen od „priraslih piramida“, priredimo izbrusak iz sredine kristala smjerom plohe klinopinakoida (010), vidjet ćemo pod mikroskopom desno i lijevo prema rubovima tamnije i ljubičasto bojadisane dijelove, a gore i dolje prema rubovima svjetlije i žutkasto bojadisane dijelove.<sup>1)</sup>

Isto tako mogu kristali „priraslih piramida“ pri svome rastezanju primiti tuđe neke tvari kao uklopke, koji će biti prema vrsti piramide različito u kristalu smješteni, na pr. uklopki u hijastolitu, gdje se u poprečnom prerezu vidi crni krst, koji potiče od uklopaka ugljovite tvari; kraci krsta odgovaraju bridovima prizme, a centralna mrlja bazi „prirasle piramide“.

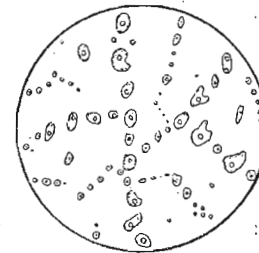
Kadikad nalazimo kristala, gdje je jezgra sastavljena od jednoga minerala, a rubovi od drugoga; na pr. jezgra je od augita, a rub od rogovače (hornblende), ili je jezgra od ortoklasa, a rub od plagioklasa i t. d.

**57. Uklopki tuđih tvari poremećuju homogenost kristala.** Kristali mineralnih tvari razvijaju se u takvim prilikama, da će kadikad primiti u svoj sastav i tuđe tvari. Više puta prilike su takove, da se kristal razvije sa raznim šupljinama ili porama. Šupljine su katkada posve nepravilne, ali znadu biti i tako pravilne, da su omedjene plohama, koje se potpuno podudaraju sa plohama samoga kristala. Ovakove pravilne šupljine u nekom kristalu zovemo *negativnim kristalima*. Negativni kristali ili pravilne šupljine u kamenoj soli imaju formu kocke, u kremenu formu kremenova kristala itd. I nepravilne i pravilne šupljine ili pore nisu nikada prazne. Već prema prilikama, u kojima se kristal razvijao, mogu one sadržavati ili koji *plin* ili koju *tekućinu*. U šupljinama kristala kamene soli nadjeno je metana i dušika, u šupljinama kristala silvina sumpornoga vodika, u šupljinama kristala kremenova vode i ugljične kiseline. Dakako šupljine su te vrlo sićušne, pa ih rijetko kada golim okom možemo posmatrati. Vidimo na pr. na kristalima kamene soli, gdje se u negativnom kristalu, koji nije potpuno ispunjen tekućinom (vodom), pomiče mjehurić ili libela i tako odaje, da se u šupljini zaista nalazi neka tekućina. Većinom su šupljine tako sićušne, da ih samo pomoću mikroskopa zapažamo, a možemo ih posmatrati

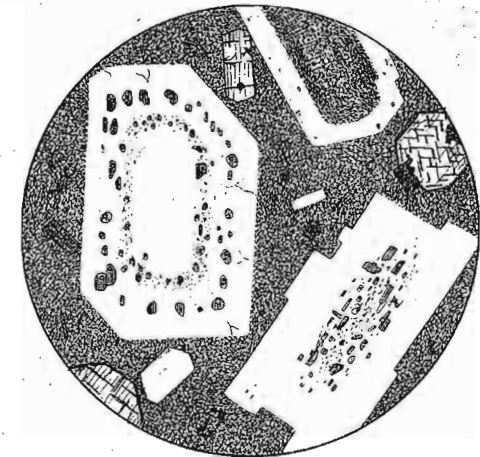
<sup>1)</sup> A. Pelikan: Ueber den Schichtenbau der Krystalle. Mineralogische und petrographische Mittheilungen. Bd. 1897. Bd. 16. pag. 1.

vrlo lijepo na pr. u kremenu (sl. 557.), koji zna biti upravo prepun šupljina različitih forma. U šupljinama se nalazi tekućina, koju samo tako prepoznajemo, što se vidi sitan mjehurić (libela), kako se neprestano giba amo tamo. Uklopcima tekućine naročito se odlikuju kremeni granita i gnajsa, pa neki glinenci. Tekućina, koja se nalazi kao uklopak u kristalima, obično je voda ili ugljična kiselina.

U kristalima, koji su se razvijali iz rastaljene tvari, iz magme, nalazimo *uklopke stakla*, koji su donekle slični uklopcima tekućine. Kao što je tekućina zašla u šupljine kristala, zašla je tako i rastaljena tvar, pa nemajući dovoljno vremena za kristalizaciju ukrutila se u staklo. U leucitima sa Vezuva vide se sitne čestice smeđjega stakla, koje imaju formu leucitovih kristala (negativni kristali ispunjeni staklom); u kremenu iz nekih rijolita, kremenih porfira i t. d. vide se uklopki stakla u formi kremenova kristala, a u nekim glinencima u formi kristala tih minerala.



Sl. 557.



Sl. 558.

Uklopki stakla imaju često, kao i uklopki tekućine, mjehurić ili libelu crno obrubljenu (sl. 558.), koja je dakako posve nepomična, po čemu se razlikuje od libele u uklopcima tekućine. Forma je njezina kuglasta, jajolika, kruškolika, vrećasta ili cjevasta.

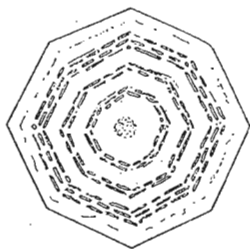
Češći su od uklopaka plinova i tekućina *uklopki čvrstih tvari*, koje vidimo u kristalima u formi stubića, iglica, vlakana, pločica, listića i sitnoga praha. Sve su to tuđe mineralne tvari, koje su ušle u kristal tokom njegova razvitka. Više puta su mineralni uklopki takovih dimenzija, da ih vidimo golim okom, na pr. uklopki rutila, amfibola, klorita, turmalina, getita i t. d. u nekim kremenovim kristalima. Ali se znadu razviti i kao

sitni mikroliti, pa ih možemo tek pomoću mikroskopa posmatrati; to su onda sitne iglice, vlakanca, ljuštice i prah, pa im kadšto uopće ne možemo odrediti prirodu, jer su presićušni. Negdje se nalaze u neznatnoj količini, a negdje su tako obilati, da ispunjaju čitav kristal; takvi su na pr. uklopci kremenoga pijeska u kalcitu, gdje kalcitov kristal izgleda kao da je sastavljen od samoga pijeska ili bolje, kao da se je pijesak iskristalizovao u romboedru i skalenoedru; zato i zovu takove pješčane uklopke *kristalizovanim pješčenjakom*.

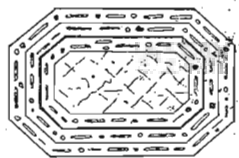
Uklopci mogu biti rašireni u kristalu bez ikakvoga reda; na njih se namjerio kristal tokom svoga rastejanja i njegova ih je mineralna tvar jednostavno uklopila rastući dalje ne djelujući na njihov položaj. Ali događaja se često, da mineralne čestice djeluju kristalizacionim silama i na one tudje tvari, na koje se pri kristalizaciji namjere, pa ih svrstavaju u pravilan položaj, koji odgovara položaju ploha kristala, u koji su tudje tvari ušle. Na taj način zauzimaju uklopci posve pravilan položaj u kristalu. Negdje se uklopci okupljaju na perifernim dijelovima kristala, a negdje u njegovom središtu (sl. 558.); negdje se svrstavaju zonarno, negdje u paralelne nizove. U sitnim kremenovim kristalima krečnjaka našega krša (karsta) nadje se često uklopaka kalcita, koji su se poredali prema rubovima kristala oponašajući njegove konture (sl. 559.); u plagioklasima andezita



Sl. 559.



Sl. 560.



Sl. 561.

gore Ivanščice u sjeverozapadnoj Hrvatskoj nalaze se uklopci stakla poredani negdje prema periferiji kristala, a negdje u središnjim dijelovima kristala (sl. 558.). U leucitovim kristalima nalazimo mikrolite augita poredane zonarno (sl. 560.), a isto tako zonarno leže i mikroliti u kristalima nekih augita (sl. 561.).

Negdje zonarno poredani uklopci daju kristalu lupinastu gradju; na pr. lupinasti kristali volframita postali su tako, da se je tokom razvitka njegova kristala sitan mineralni prah postepeno slagao na površinu izraslih ploha; tu se dakle izmjenjuju kristalne plohe sa tanušnom naslagom sitnoga praha nekih mineralnih tvari. Ovakav način uklapanja zna se razvijati smjerom samo jedne plohe u kristalu, na pr. kod kristala bronzita. Takva vrsta uklopaka dovodi kadšto do lupinastoga lučenja kristala smjerom one plohe, gdje su se sabrali uklopci (60).

## II. MINERALNA FIZIKA.

Minerali se odlikuju fizičkim svojstvima: oni mogu biti teži i lakši, mogu se kalati (cijepati), mogu biti savitljivi i lomni, tvrdji i mekaniji, mogu propuštati ili upijati svjetlo i toplinu, mogu biti električni, magnetski i t. d. Sva njihova fizička svojstva zavise o strukturi, a kako svaki mineral ima svoju zasebnu strukturu, ima on i svoja zasebna fizička svojstva, po kojima ćemo često moći vrlo lako razlikovati jedan mineral od drugoga. U nekim slučajevima dostaje na pr. tek tvrdina minerala, da znamo, koji je to mineral; drugi put će poslužiti njegova savitljivost ili lomnost za tačno razaznavanje; gdjegdje će nas iz nedoumice izvesti kalavost (cjepljivost) minerala, a pogotovo su od goleme važnosti njegova optička svojstva. Treba dakle da se upoznamo sa fizičkim svojstvima minerala, da i po njima uzmognemo ući u tajne, što ih oni kriju.

**58. Minerali se medju sobom razlikuju specifičnom težinom ili gustinom.** Za upoznavanje minerala od velike je važnosti njihova specifična težina; to je težina jedinice obima minerala; ona kaže i to, koliko je izvjesni obim nekoga tijela teži ili lakši od jednakoga obima vode. Kao jedinica obima služi 1 cm<sup>3</sup> vode, koja kod 4° C teži 1 gr. Ako dakle važno 1 cm<sup>3</sup> vode i 1 cm<sup>3</sup> kalcita, naći ćemo, da voda teži 1 gr, a kalcit 2,72 gr; kažemo: specifična težina vode je 1, a specifična težina kalcita 2,72. Specifična je težina skalarno svojstvo ( $\gamma$ ), t. j. ona ne zavisi o smjeru u mineralu, nego je u svim smjerovima ista, te što na nju utiče, jest temperatura i tlak; uz različitu temperaturu i tlak i ona je različita.

Specifičnoj težini jednaka je *gustina*  $g$ ; to je omjer mase  $M$  i obima  $V$  nekoga minerala (ili tijela uopće);  $g = \frac{M}{V}$ .

Svaki mineral ima svoju zasebnu specifičnu težinu, koja je uz istu temperaturu i tlak uvijek ista, uvijek stalna, pa razvijao se mineral gdje mu drago i uz koje god prilike. Specifična je težina na pr. kalcita 2,72, i mi ne možemo naći nigdje kalcita, ako je samo čist, koji bi imao možda neku drugu specifičnu težinu. Ta stalnost u specifičnoj težini nije ništa drugo nego odražaj strukture, koja je za svaku mineralnu vrstu uvijek ista,

uvijek jednaka. Kad bi se dakako struktura minerala budi s kojega uzroka promijenila, promijenila bi se tim mašom i njegova specifična težina. O tom bismo se mogli uvjeriti, kad bismo neki kristalizovani mineral rastalili. Čim se kristalizovani mineral rastali, prelazi iz čvrstoga stanja u tekuće, iz kristalizovanoga u amorfno. Ako pokušamo odrediti specifičnu težinu toga rastaljenoga, dakle amorfnooga minerala, naći ćemo, da je ta težina nešto manja, negoli u kristalizovanom mineralu. Tako je na pr. specifična težina ortoklasa 2,595, a kad ga rastalimo pa pustimo, da se skrutne kao amorfan, specifična mu je težina 2,284. Kristalizovani mineral ima dakle uvijek veću specifičnu težinu od svoje amorfne modifikacije.<sup>1)</sup> To je svojstvo osobito važno za raspoznavanje kristalizovane lave od amorfne. Kad se na pr. granitska lava potpuno iskristalizuje, postane od nje potpuno kristalasta stijena, granit, koji ima specifičnu težinu 2,6; ako ta lava ne dospije da se sva iskristalizuje, nego samo jedan njezin dio, a drugi ostane amorfan (staklo), razvije se od nje polukristalasta stijena, t. zv. liparij,<sup>2)</sup> koji ima specifičnu težinu 2,4; ali mogu da nadodju i takve prilike pa se granitska magma ne može uopće iskristalizovati; ona se skrutne u amorfnu stijenu, u staklo, u t. zv. opsidijan, koji ima specifičnu težinu 2,2. Kako dakle raste amorfnost neke mineralne tvari, tako pada njezina specifična težina.

Najrašireniji minerali, oni, što izgradjuju koru Zemljinu, stijene, imaju specifičnu težinu između 2,5 i 2,7. Rudače ili rude, koje su od velike važnosti po gospodarski i kulturni razvitak čovjeka, imaju većinom specifičnu težinu između 4 i 7,5. Među najteže minerale spada iridij sa specifičnom težinom 21,57—23,46, platina sa specifičnom težinom 17—19, zlato sa specifičnom težinom 15,6—19,4, živa sa specifičnom težinom 13,5, srebro sa specifičnom težinom 10—12; a među najlakše petrolej sa specifičnom težinom 0,6—0,9, asfalt sa specifičnom težinom 1,1—1,2, jantar sa specifičnom težinom 1—1,1. Kod ovih minerala koleba specifična težina zbog toga, što oni ne dolaze nikada u prirodi kao kemijski čiste tvari (112).

Ima nekoliko načina, kako možemo odrediti nekome mineralu specifičnu težinu. Vrlo je jednostavna metoda određivanja specifične težine pomoću *piknometra*<sup>3)</sup>. Piknometar je malena staklena posudica, u koju možemo staviti grljak, što je oduljen kao tanušna cijev (sl. 562.). Specifična težina određuje se ovako: Piknometar se napuni vodom, kojoj znamo temperaturu, i odvagne; tako dobijemo težinu piknometra sa vodom =  $p$ . Zatim odvagnemo mineral, koji smo smrvili u prah, te dobijemo njegovu težinu =  $m$ . Odvagnuti prah minerala stavimo u piknometar, napunimo piknometar ponovice vodom i sve to odvagnemo, pa dobijemo težinu pi-

<sup>1)</sup> Od toga pravila odstupa voda, koja u tekućem stanju ima specifičnu težinu 1, a kad prijeđe u kristalizovano stanje, u led, ima specifičnu težinu 0,917.

<sup>2)</sup> Vulkanska stijena sa Liparskoga otočja, pa otuda ime.

<sup>3)</sup> Od grč. *pyknós*, gust, *mélron*, mjera.

knometra sa vodom i mineralom =  $v$ ; iz tih se podataka da naći specifična težina =  $s$  po formuli:  $s = \frac{m}{p + m - v}$ .

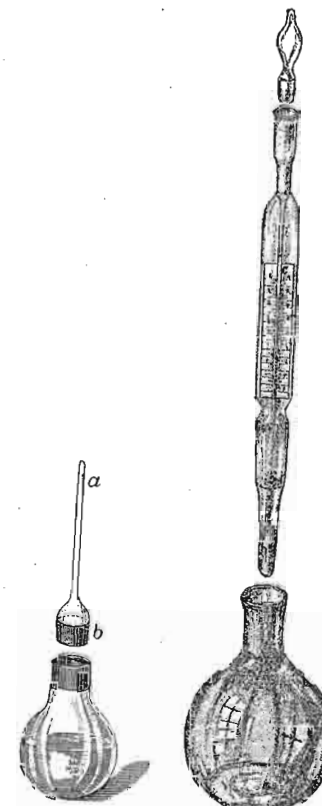
Pomoću piknometra daje se odrediti specifična težina i onim mineralima, koji su u vodi topljivi. Samo se kod takvih minerala ne uzima voda nego onakova tekućina, u kojoj oni nisu topljivi, na pr. alkohol, petrolej i t. d.

Koliko je god određivanje specifične težine metodom piknometra vrlo jednostavno, ima ono nekih nedostataka. U prvom redu treba imati priličnu količinu mineralnoga materijala (nekoliko grama, ako želimo zbog korekture obaviti nekoliko određivanja), u drugom redu utiče na određivanje spec. tež. promjenljivost temperature za trajanja vaganja tekućine. Da znamo tačno temperaturu tekućine za vaganja, priredio je naš kemik *S. Bošnjaković* vrlo zgodan piknometar sa termometrom i sa čepom, koji zaprječuje isparavanje tekućine (sl. 563.).

Jednostavno je određivanje specifične težine i *metodom suspenzije*. Kod toga određivanja možemo imati tek sitan komadić minerala, koji stavimo u neku tekućinu poznate specifične težine. Ako je mineral lakši od tekućine, on će plivati na površini, ako je teži, past će na dno; ali ako je iste spec. težine kao i sama tekućina, on će u njoj plivati, t. j. na svakom mjestu u tekućini, kamo ga stavimo, on će tu plivati ne dižući se i ne spuštajući se.

U koliko je metoda suspenzije zgodna, jer za određivanje specifične težine dosta je da imamo maljušni komadić minerala, opet je u toliko nezgodna, što nemamo zgodnih tekućina, koje bi imale specifičnu težinu veću od 3,731. Prema tome možemo metodom suspenzije odrediti specifičnu težinu samo onim mineralima, kojima je specifična težina manja od 3,731.

Određivanje obavljamo tako, da tekućinu ulijemo u cilindričnu posudicu i metnemo u tekućinu komadićak minerala. Jer je tekućina toliko koncentrovana, da ima maksimum specifične težine, mineral će (ako je od nje lakši) plivati na površini; tekućinu valja sada



Sl. 562.

Sl. 563.

oprezno razrjedjivati, dok ne dobijemo onakovo razrjedjenje, da mineral u tekućini, na koje ga god mjesto stavimo, ostaje plivajući; u tom je slučaju mineral iste specifične težine kao i tekućina. Sada treba odrediti specifičnu težinu tekućine i to ili metodom piknometra ili metodom areometra ili pomoću hidrostatske vage ili pomoću indikatora, o čemu će biti odmah govora.

Od tekućina, koje služe kod metode suspenzije, spomenut ćemo: *Thoulet-ova otopina*; to je kalijski živin jodid otopljen u vodi u omjeru 100 gr HgJ<sub>2</sub>: 124 gr KJ, što odgovara formuli HgJ<sub>2</sub>.2KJ; otopina u tom omjeru ima spec. tež. 3,196 i da se lako razrjedjivati vodom, pa joj možemo po volji dati razne spec. tež., koje stoje ispod 3,196. Isparavanjem na vodenoj kupelji možemo je učiniti opet koncentrovanom. Nije zgodna za određivanje spec. tež. onih alumosilikata, koje je zahvatilo trošenje, jer tako trošni alumosilikati adsorbuju iz otopine kalij. Otopina je otrovna. *Klein-ova otopina*; to je kadmijski borovolfram 2CdO<sub>2</sub>.H<sub>2</sub>O.B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.9WO<sub>3</sub> + 16H<sub>2</sub>O specifične težine 3,30. Da se razrijediti vodom, a koncentrovati isparavanjem. *Rohrbach-ova otopina*; to je vodena otopina barijskoga i živinoga jodida, koju možemo prirediti, ako odvagamo 100 gr barijskoga jodida BaJ<sub>2</sub> i 150 gr živinoga jodida HgJ<sub>2</sub> i otopimo u vodi; spec. tež. te otopine je 3,588. *Retjers-ova otopina*; to je otopina kositerna jodida SnJ<sub>4</sub> u arsenskom tribromidu AsBr<sub>3</sub>; ima spec. tež. 3,731; razrjedjuje se benzolom. *Metilenski jodid* CH<sub>2</sub>J<sub>2</sub> ima spec. tež. 3,324; može se razrjedjivati eterom ili benzolom. *Bromoform* CHBr<sub>3</sub> ima spec. tež. 2,904; razrjedjuje se benzolom; na svijetlu sunčanom posmedji. *Acetilenski tetrabromid* CHBr<sub>2</sub> — CHBr<sub>2</sub> ima spec. tež. 3,0; razrjedjuje se eterom i benzolom; na sunčanom svijetlu nešto teže posmedji.

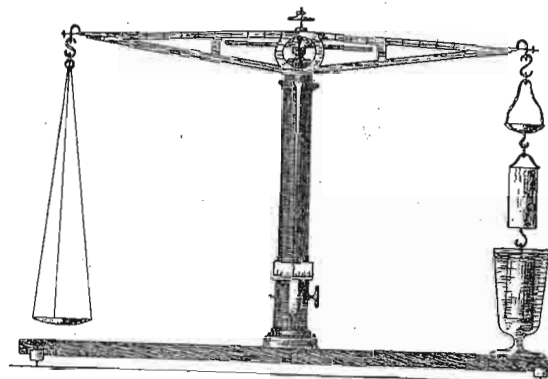
Metoda suspenzije ne služi samo za određivanje specifične težine, nego i za odjeljivanje minerala jednih od drugih, kad se nalaze medju sobom izmiješani. Na pr. u nekom pijesku može se nalaziti nekoliko minerala, dakako svaki svoje spec. tež. Pomoću napomenutih tekućina možemo lako odijeliti minerale jedne od drugih tako, da ih stavimo u koju od spomenutih tekućina, na pr. u Thoulet-ovu tekućinu; svi minerali, koji imaju spec. tež. veću od 3,196, past će na dno i možemo ih pobrati pa dalje istraživati. Sad ćemo po malo razrjedjivati otopinu i kako je razrjedujemo, padat će na dno minerali veće spec. tež. Takovo odjeljivanje minerala osobito je važno kod istraživanja pijesaka i stijena, gdje možemo pojedine minerale dobiti zasebice, pa ih tačno istražiti kemijski i optički, a možda i geometrijski, ako su to lijepi kristali sa jasnim kristalnim plohami.<sup>1)</sup>

Specifičnu težinu određujemo i pomoću *hidrostatske vage* (sl. 564.), za koju svrhu može poslužiti obična analitička vaga, na kojoj važemo mi-

<sup>1)</sup> I. Duparc et A. Monnier: Traité de technique minéralogique et pétrographique. Deuxième partie. Tome I. Leipzig 1913. pag. 7.

neralni prah i žarene taloge kod kemijskoga istraživanja minerala. Kod metode pomoću hidrostatske vage treba najprije odvagnuti komadić minerala u zraku, da dobijemo njegovu težinu =  $t$ . Sad se mineral pričvrsti na tanušnu nit, koja visi na kraku vage, i zaroni u vodu, koju držimo u posudi ispod kraka vage; tako saznamo težinu minerala u vodi =  $g$ : Iz tih podataka nadjemo, da je  $s = \frac{t}{t-g}$ .

Hidrostatskoj vagi slična je Mohrova ili Westphalova vaga. Na duljem kraku poluge nalazi se mala posudica, o koju je ovješena visuljak  $s$ ; on



Sl. 564.

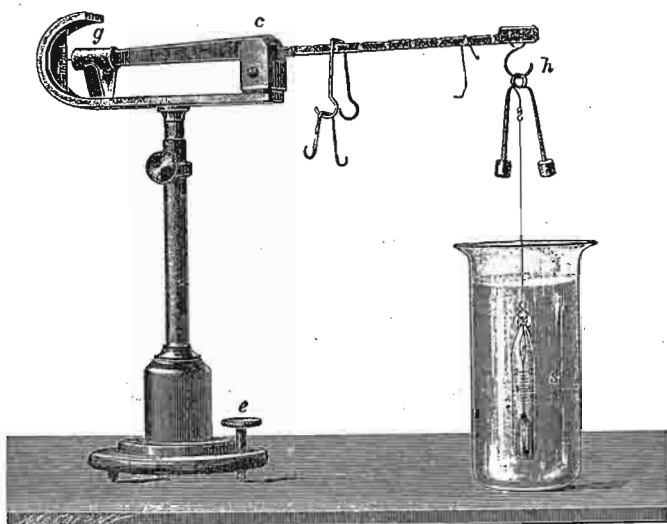
je stalno u vodi. Najprije zaronimo praznu posudicu u vodu i pomoću „jahača“ dovedemo polugu u ravnotežu: tako saznamo težinu prazne posudice =  $a$ ; zatim zaronimo u vodu posudicu sa mineralom i saznamo njihovu težinu =  $b$ ; napokon zaronimo sam mineral, koji objesimo o nit, i saznamo njegovu težinu u vodi =  $c$ . Iz tih podataka nadjemo, da je  $s = \frac{b-a}{b-c}$ .

Westphalova ili hidrostatska vaga osobito je podesna za određivanje spec. tež. tekućina. Na kraćem kraku vage (sl. 565.) nalazi se utez  $g$ , a na duljem visuljak  $s$ , oboje je u ravnoteži, dok je visuljak u zraku. Zaronimo li visuljak u čistu vodu (destilovanu), poremeti se ravnoteža i sa „jahačem“, koga objesimo kod  $h$ , dovedemo polugu opet u ravnotežu. „Jahač“ je težine 1, dakle je i spec. tež. vode 1. Ako je tekućina spec. tež. 2, stavit ćemo kod  $h$  „jahač“ težine 2, ako je spec. tež. 3, stavit ćemo „jahač“ težine 3. Desetinke dobijemo pomoću drugih manjih „jahača“, koje mećemo na polugu između  $h$  i  $c$ . Na pr. na našoj slici pokazuje vaga spec. tež. tekućine 3.338. U visuljku je termometar, da znamo temperaturu istraživane tekućine.

Pomoću *areometra*<sup>1)</sup> možemo naći specifičnu težinu čvrstih i tekućih tvari, uronjujući areometar u izvjesne tekućine. Areometar (sl. 566.) je

<sup>1)</sup> Od grč. *araiós*, rijedak.

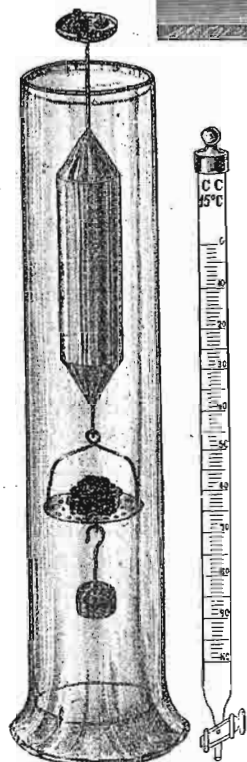




Sl. 565.

šuplji mesingasti valjak, koji ima na gornjem kraju štapić sa znakom, a na vrhu štapića mali tanjurić; na donjem kraju nalazi se šupljikavi tanjurić, o koji se može objesiti utež, pa kada zaronimo areometar u koju tekućinu, pliva on u vertikalnom položaju. Želimo li odrediti spec. tež. nekom mineralu, metnemo ga na tanjurić, a uz to još i toliko uteza, da areometar zaroni sve do znaka na štapiću. Sad uklonimo mineral i mećemo toliko uteza, dok opet areometar ne zaroni u vodu do znaka na štapiću; ti utezi kažu nam težinu minerala =  $T$ ; njih uklonimo, a mineral metnemo na donji šupljikavi tanjurić, zaronimo u vodu, dodajemo na gornji tanjurić toliko uteza, dok areometar ne zaroni do znaka na štapiću; ti utezi daju težinu minerala u vodi =  $t$ . Iz tih podataka nadjemo, da je  $s = T : t$ .

Pomoću *birete*<sup>1)</sup> da se odrediti spec. tež. nekom mineralu tako, da biretu (sl. 567.) napunimo vodom do izvjesne visine, do  $a$  ccm; odvajnuti mineralni praš  $b$  uspemo u tako napunjenu biretu i voda će se podići do  $c$  ccm. Iz tih podataka nadjemo, da je  $s = \frac{b}{c-a}$ .



Sl. 566.

Sl. 567.

<sup>1)</sup> Od franc. la *burette* vrić.

Ako treba da se odredi spec. tež. nekoj tekućini, a nemamo Westphalove vage, možemo se poslužiti *indikatorima*. To su komadi pojedinih minerala, kojima znamo tačno spec. tež. Te komade mećemo u one tekućine, kojima istažujemo spec. tež., pa ako oni u samoj tekućini plivaju, a ne dižu se ni na površinu, niti padaju na dno, onda je tekućina iste spec. težine kao i sam indikator.

V. Goldschmidt sastavio je skalu indikatora, koju ovdje donosimo:

Mineral	Nalazište	Spec. tež.	Mineral	Nalazište	Spec. tež.
sumpor	Girgenti	2,070	kremen	Middleville	2,650
hijalit	Waltsch	2,160	labrador	Labrador	2,689
opal	Scheiba	2,212	kalцит	Rabenstein	2,715
mezotip	Brevig	2,246	dolomit	Muhrwinkel	2,733
smolinac	Meissen	2,284	dolomit	Rauris	2,868
opsidijan	Lipari	2,362	prehnit	Kilpatrick	2,916
perlit	Madjarska	2,397	aragonit	Bilin	2,933
leucit	Vezuv	2,465	aktinolit	Zillertal	3,020
adular	St. Gotthard	2,570	andaluzit	Bodenmais	3,125
eleolit	Brevig	2,617	apatit	Ehrenfriedersdorf	3,180

Ima još nekoliko načina određivanja specifične težine pomoću nekih aparata, koji su svi ojednaki napomenutim aparatima.<sup>1)</sup>

Mjesto specifične težine ili gustine možemo upotrebiti *specifični volumen*; to je reciproka vrijednost spec. težine nekoga tijela; dakle  $\frac{1}{s}$ .

Za upoređivanje različitih minerala medju sobom možemo upotrebiti i *molekularni volumen*  $v$ ; to je molekularna težina  $M$  nekoga minerala (ili tijela uopće) podijeljena njegovom specifičnom težinom  $s$ ;  $v = \frac{M}{s}$ .

Molekularni volumen služi i za upoznavanje bridova (ivica) elementarnoga paralelepipeda (36). Ako znamo veličine tih bridova, znamo i sam paralelepiped. Bridove elementarnoga paralelepipeda zovemo po *Muthmannu* i *Becke-u* *topskim osima* (*parametrima*) i bilježimo ih grčkim slovima  $\chi$ ,  $\psi$ ,  $\omega$ , gdje  $\chi$  odgovara osi  $a$ ,  $\psi$  osi  $b$ ,  $\omega$  osi  $c$ . Poznamo li molekularni volumen  $v$ , osni odnos  $a : b : c$  i osne kutove (uglove)  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , možemo izračunati topske osi (parametre)  $\chi$ ,  $\psi$ ,  $\omega$ .<sup>2)</sup> Za izračunavanje topskih osi triklinskih kristala služe ove formule (gdje je  $b = 1$ ):

$$\chi = a \sqrt[3]{\frac{v}{ac \sqrt{1 + 2 \cos \alpha \cos \beta \cos \gamma - \cos^2 \alpha - \cos^2 \beta - \cos^2 \gamma}}}$$

<sup>1)</sup> H. Rosenbusch und E. A. Wülfing: Mikroskopische Physiographie der Mineralien und Gesteine. Fünfte Auflage. Bd. I. H. 1., pag. 671. Stuttgart 1921/1924.

<sup>2)</sup> P. Niggli: Lehrbuch der Mineralogie I. Allgemeine Mineralogie. Zweite Auflage, pag. 251. Berlin 1924.

$$\psi = \sqrt[3]{\frac{v}{ac \sqrt{1 + 2 \cos \alpha \cos \beta \cos \gamma - \cos^2 \alpha - \cos^2 \beta - \cos^2 \gamma}}}$$

$$\omega = c \sqrt[3]{\frac{v}{ac \sqrt{1 + 2 \cos \alpha \cos \beta \cos \gamma - \cos^2 \alpha - \cos^2 \beta - \cos^2 \gamma}}}$$

Za monoklinske kristale:

$$\chi = a \sqrt[3]{\frac{v}{ac \sin \beta}}, \quad \psi = \sqrt[3]{\frac{v}{ac \sin \beta}}, \quad \omega = c \sqrt[3]{\frac{v}{ac \sin \beta}}$$

Za rompske kristale:

$$\chi = a \sqrt[3]{\frac{v}{ac}}, \quad \psi = \sqrt[3]{\frac{v}{ac}}, \quad \omega = c \sqrt[3]{\frac{v}{ac}}$$

Za heksagonske kristale:

$$\chi = \psi = \sqrt[3]{\frac{v}{c \cdot \sin 120^\circ}}, \quad \omega = c \sqrt[3]{\frac{v}{c \cdot \sin 120^\circ}}$$

Za tetragonske kristale:

$$\chi = \psi = \sqrt[3]{\frac{v}{c}}, \quad \omega = c \sqrt[3]{\frac{v}{c}}$$

Za teseralne kristale:

$$\chi = \psi = \omega = \sqrt[3]{v}$$

**59. Minerali se lome.** Mineralne čestice, što izgrađuju tijelo minerala, međusobno se privlače tako, da se radi toga nalaze u ravnoteži (36). Sila, kojom djeluju mineralne čestice jedne na druge, opire se svakom uticaju, koji bi htio pomaknuti čestice iz onoga položaja, u kom se nalaze; mi tu silu zovemo *kohezijom*. U amorfnim mineralima kohezija je u svakom smjeru ista (14), u svakom smjeru opire se jednako vanjskim uticajima; kohezija je dakle u tim mineralima skalarno svojstvo. Ali u kristalizovanim mineralima djelovanje je kohezije u raznim smjerovima razno; ima tu jedan smjer, gdje je ona najjača, i jedan smjer, gdje je najslabija; u tim je mineralima kohezija vektorijalno svojstvo.

Kad je mineral izvrnut vanjskim uticajima, na pr. tlaku, udarcu, potegu, savijanju i t. d., on će se tim uticajima ili oduprijeti ili će im popustiti, već prema jakosti kohezije. Ako su izvanje sile tako jake, da im kohezija ne može odoljeti, poremetit će se gradnja minerala u toliko, da će se vanjšina njegova, njegovo lice, preinačiti; mineral će se deformirati.

Način deformiranja zavisiće dakako o tom, da li je kohezija u svim smjerovima ista ili je u različitim smjerovima različita. Ako na pr. udarimo čekićem po nekom amorfnom mineralu, recimo po opsidijanu ili po opalu, kohezija njihova ne će moći odoljeti udarcima čekića, pa će se mineral pod udarcima lomiti u *nepravilne* komadiće; kažemo: mineral se *lomi*.

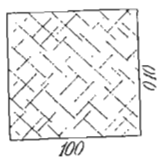
Ako promotrimo oblik nepravilnih komadića, što su postali kod lomljenja minerala, vidjet ćemo, da kadikad podsjećaju jako na oblik ljuštore ili školjke. Za minerale, koji se pod udarcima lome u ljušturaste ili školjkaste komadiće, velimo, da su *ljušturasta* ili *školjkasta loma*. Gdje gdje se školjkasti lom sve više gubi tako, da su odlomljeni komadi prilično ravni; mineral je tada *ravna loma*. Odlomljeni komadi mogu biti puni udubina i izbočina; to se događa kod minerala *neravna loma*. Negdje su odlomljeni komadi glatki, pa je mineral *glatka loma*; ako su ti komadi iverasti, mineral je *iverasta loma*; ako su kukasti (na pr. kod nekih metala), onda je *kukasta loma*. Ima minerala, na pr. haloazit, koji se tako lome, da je površina odlomljenih komadića puna sitna praha; takvi su minerali *zemljasta loma*.

Lom je svojstvo, koje ćemo naći ne samo kod amorfnih nego i kod kristalizovanih minerala. I ako se kristalizovani minerali odlikuju kohezijom, koja je u raznim smjerovima razna, može neki kristalizovani mineral biti tako gradjen, da su razlike u koheziji vrlo male, t. j. kohezija je u svim smjerovima gotovo ojednaka, pa se mineral pod udarcima ili pod tlakom nepravilno lomi ili u školjkastim ili u ravnim ili u iverastim i t. d. komadima. Tako se na pr. pirit lomi ljušturasto sa lakim prelazom u neravan lom, a kremen školjkasto sa prelazom u neravan i iverast lom. Lomom se odlikuju osobito gusti kristalasti agregati. Gusti krečnjaci, na pr. iz našega krša, lome se školjkasto; dolomiti se lome u nepravilne komade oštih bridova.

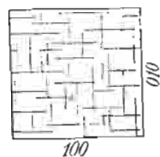
Lom je za raspoznavanje pojedinih mineralnih vrsta često puta od znatne važnosti. Pomoću njega lako ćemo moći više puta raspoznati jedan mineral od drugoga, na pr. kalcit od krēmena, kalcit od dolomita.

**60. Minerali se kalaju ili cijepaju.** Kristalizovani minerali, kod kojih je kohezija u jednom smjeru znatno veća negoli u nekom drugom, podliježu takodjer udarcu ili tlaku te se raspadaju u sitne komade, no ti su komadi *pravilna oblika*. Ako na pr. uzmemo kristal kamene soli ili galenita, pa ga lako udarimo čekićem, raspast će se kristal u sitne komade. Promotrimo li te komade, vidjet ćemo, da svaki od njih ima oblik kocke; mineral se dakle pod udarcem raspada u pravilne komadiće i to pravilno kidanje minerala zovemo *kalavošću* ili *cjepljivošću*; velimo: mineral se *kala* (*cijepa*). Pravilnost kalanja očituje se u tom, što se neki mineral kala uvijek smjerom jedne moguće kristalne plohe; ta je ploha obično jednostavnih indeksa. Kod teseralnih kristala to je najčešće ploha oktaedra (sl. 568.) i heksa-

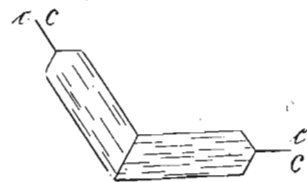
edra (sl. 569.). Kod tetragonskih kristala najradije je ploha kalavosti ploha tetragonske prizme (sl. 570.) ili baznoga pinakoida (sl. 571.); vrlo se rijetko razvila kalavost smjerom tetragonskih bipiramida ili ditetragonskih formi. Kod heksagonskih kristala obično je ploha kalavosti ploha romboedra (sl. 572.),



Sl. 568.



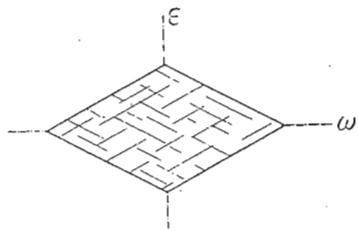
Sl. 569.



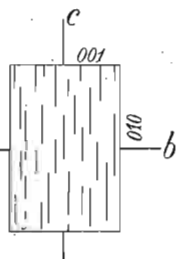
Sl. 570.



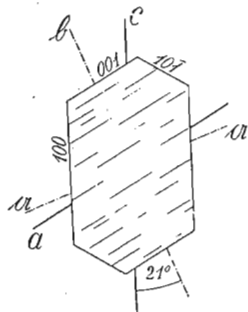
Sl. 571.



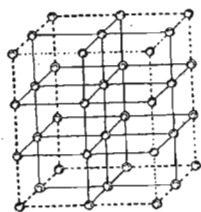
Sl. 572.



Sl. 573.



Sl. 574.



Sl. 575.

osnovnoga pinakoida i heksagonske prizme I. i II. reda. U rompskim kristalima najčešća je kalavost smjerom pinakoida (sl. 573.), katkada smjerom prizme, a vrlo rijetko smjerom bipiramide. Kod monoklinskih kristala razvila se je pinakoidska kalavost i to tako, da je češća kalavost smjerom osnovnoga pinakoida (sl. 574.) i ortopinakoida, negoli smjerom klinopinakoida; dosta je česta i prizmatska kalavost (sl. 579., 580.). U triklinskom sustavu

kalavost je samo pinakoidska (sl. 581., 582.). Neki minerali mogu se kalati smjerom nekoliko kristalnih ploha. Tako se na pr. anhidrit, koji se kristalizuje u rompskoj holloedriji, ka' a smjerom plohe (001), (100), (010); kod takvih kristala, daju se iskalati komadi, koji pokazuju kombinacije kristalnih ploha. Iskalani komad (kalotina) anhidrita ima formu kocke, ali da to nije kocka, t. j. forma, gdje bi svih šest ploha bile iste vrste, nego kombinacija triju forma, vidi se po tome, što je kalavost smjerom plohe (010) najjača, smjerom plohe (100) nešto slabija, a smjerom plohe (001) najslabija; kod kocke bi kalavost morala biti smjerom svih šest ploha jednaka.

Kazali smo, da je uzrok kalavosti kohezija; što je kohezija u različitim smjerovima različiti, kalavost je minerala potpunija, mineral se lakše kala. Ako se još sjetimo strukture kristala (36), bit će nam kalavost mnogo shvatljivija. Atomi, što izgradjuju tijelo mineralovo, poredali su se u nizove stvarajući tako prostornu mrežu (sl. 575.). Prostorna je mreža sastavljena od bezbroja mrežastih ravnina i baš u tim ravninama okupljaju se mineralne čestice u pravilne nizove, dakle je u tim ravninama najjača kohezija. Što je u mrežastoj ravnini veće mnoštvo čestica, što su one u njoj gušće poredane, to je ona udaljenija od susjedne paralelne mrežaste ravnine, t. j. kohezija je u smjeru mrežaste ravnine veća nego u smjeru na nj okomitom. Ako dakle djeluje tlak, udarac ili što slično na tako gradjeni mineral, on će se kalati smjerom mrežaste ravnine, dakle smjerom najjače kohezije.

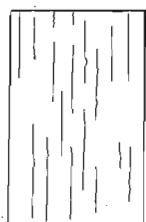
Plohe, koje postaju kalanjem, zovemo ploham kalavosti. Svaka je ploha kalavosti, kako je već rečeno, uvijek paralelna jednoj kristalnoj plohi, koja se na kristalu nalazi ili je na njem moguća; to zahtijeva sama struktura kristala, pa je nemoguća kalavost nekim drugim smjerom. Budući da ploha kalavosti odgovara kristalnoj plohi, to i ona, kao kristalna ploha, predstavlja mrežastu ravninu, u kojoj su mineralne čestice najgušće poredane. Paralelno plohi kalavosti kohezija je najveća, a okomito na plohu kalavosti ona je najmanja. Kako kalavost zavisi o razlici kohezije, to je ona svojstvo samo kristalizovanoga minerala. U različitim je mineralima stupanj kalavosti različit. Kod minerala, koji su tako gradjeni, da su mrežaste ravnine udaljenije jedna od druge, gdje je dakle kohezija između jedne i druge mrežaste ravnine slabija, mineral će se potpunije kalati. Tinjac (liskun) na pr. možemo pomoću nožića kalati u vrlo tanušne listiće; lakim udarcem čekića možemo razbiti kristale kamene soli ili galenita u vrlo sićušne kockice; jednako tako možemo razbiti kristal kalcita u vrlo sitne romboedre i t. d. U mislima možemo to kalanje provesti do krajnjih granica, do onoga dijela, koji bi bio sastavljen od jedne jedine mrežaste ravnine, ili od jedne jedine čestice. Kod nekih je minerala, na pr. kod apatita, kalavost nepotpuna, a kod nekih, na pr. kod kremenja, granata, turmalina, i t. d. gotovo je i nema.

Kalanjem mogu se neki minerali raspasti u komade, koji su svojim oblikom pravi poliedri; naliče dakle na kristale. Takve iskalane poliedarske komade zovemo *kalotinama*. Heksaedar na pr. kamene soli raspada se kalanjem u sitne heksaedre, heksaedar fluorita raspada se u oktaedre, kristali kalcita u romboedre. Sve te kalotine, i heksaedar i oktaedar i romboedar, koje su svojom formom posvema jednake kristalima pomenutih minerala, ne možemo smatrati kristalima, jer nisu od iskona takovi (7). Oni nisu kristali, nisu individui, nego komadi kristala, komadi individua, kao što je na pr. grana komad nekoga stabla.

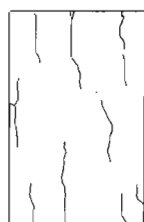
Ako od kojeg minerala izrazite kalavosti priredimo tanušnu pločicu, pojavit će se na njoj zbog kojeg mehaničkog uzroka manje više pravilne



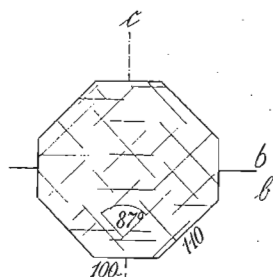
Sl. 576.



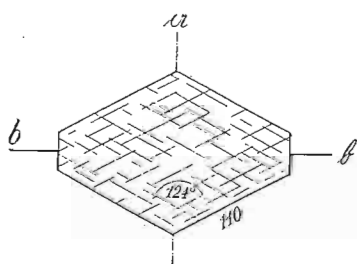
Sl. 577.



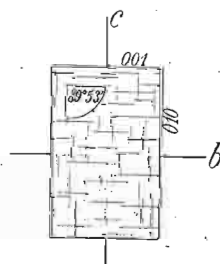
Sl. 578.



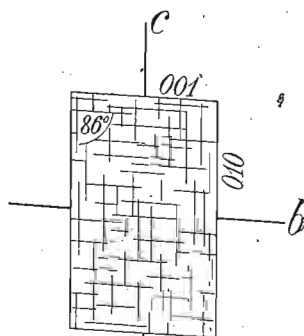
Sl. 579.



Sl. 580.



Sl. 581.



Sl. 582.

pukotine, koje teku paralelno sa plohom kalavosti, pa ih zovemo *pukotinama kalavosti*. Što je kalavost savršenija, pukotine su oštrije i ravnije (sl. 576., 577., 578.)

Kalavost je za upoznavanje minerala vrlo važno svojstvo. Više nam puta baš kalavost pomaže da raspoznamo jedan mineral od drugoga. Osobito mnogo usluga čini ona kod mikroskopskoga proučavanja minerala, pa ćemo pomoću pukotina kalavosti vrlo lako raspoznati na pr. piroksen od amfibola, ortoklas od plagioklasa ili koji amorfan mineral od teseralnoga. Tako je na pr. kut (unutarnji) prizme piroksena  $(110) : (1\bar{1}0) = 87^\circ 10'$ , a kod amfibola je  $(110) : (1\bar{1}0) = 124^\circ 11'$ ; prema tome će i prizmatska kalavost tih minerala stvarati pukotine kalavosti, koje će se sjeći kod piroksena (sl. 579.) pod kutom (uglom) od  $87^\circ 10'$ , a kod amfibola (sl. 580.) pod kutom (uglom) od  $124^\circ 11'$ ; kod mikroklina iznosi vanjski kut između osnovnoga pinakoida i brahipinakoida  $(001) : (010) = 89^\circ 53'$ , a kod anortita je  $(001) : (010) = 85^\circ 50'$ ; kako se oba glinenca, mikroklin i anortit, kalaju smjerom osnovnoga pinakoida i brahipinakoida, sjeći će se pukotine kalavosti kod mikroklina (sl. 581.) gotovo pod pravim kutom ( $89^\circ 53'$ ), a kod anortita (sl. 582.) pod kosim kutom ( $85^\circ 50'$ ) i po toj ćemo ih kalavosti odmah raspoznati.

Pa i vani, u prirodi, kad se namjerimo na neke minerale, pomoći će nam kalavost, da ih prepoznamo. Više puta su komadi bijela kalcita jako slični komadima bijela kremenja, ali ih kalavost odaje: kalcit se odlikuje kalavošću, kremen je nema.

Minerali, kod kojih je kalavost jako razvita, odlikuju se *savršenom kalavošću* (sl. 576.); takvi su na pr. kalcit, kamena so, gips, tinjac (liskun), antimonit; kod kojih je dobro razvita, odlikuju se *jasnom kalavošću* (sl. 577.); takvi su na pr. fluorit, barit, amfibol; koji se dosta dobro kalaju, odlikuju se *priličnom kalavošću* (sl. 578.); takvi su na pr. piroksen i kriolit; koji se slabo kalaju, imaju *nepotpunu kalavost*; takvi su na pr. granat i kremen.

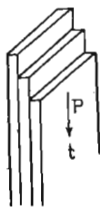
Plohe, koje postaju kod savršenoga kalanja minerala, ravne su i glatke; one jako reflektiraju svjetlo pa se odlikuju jakom sjajnošću; svjetlo, koje u njih zalazi, takodjer se jako reflektira i tako dolazi do interferencije (77), zbog koje plohe kalavosti pokazuju sedefastu sjajnost; gdje pri refleksiji svjetla ne dolazi do interferencije, plohe kalavosti pokazuju dijamantnu sjajnost. Tako se na pr. sedefastom sjajnošću odlikuju plohe savršene kalavosti, koje postaju kod kalanja anhidrita smjerom  $(010)$ , plohe savršene kalavosti gipsa smjerom  $(010)$ , tinjca (liskuna) smjerom  $(001)$ . Plohe, koje postaju od jasnoga kalanja minerala, prilično su ravne i glatke, pa prilično i svjetlo reflektiraju; one se odlikuju takodjer sjajnošću, koja je jednaka sjajnosti stakla od prozora, pa velimo za njih, da su staklaste sjajnosti, na pr. plohe jasne kalavosti anhidrita smjerom  $(100)$ . Plohe, koje su postale kod nepotpune kalavosti, neravne su i pokazuju masnu sjajnost.

Kalavost je stalno svojstvo neke mineralne vrste. Ali ima istraživanja, koja upućuju, da se kalavost neke mineralne vrste može promijeniti, ako je u mineral ušla neka tuđa tvar. Tako se na pr. galenit, koji ima bizmuta, kala smjerom plohe oktaedra, a ne smjerom plohe heksaedra.

Na kalavost jako podsjeća *lupinasto lučenje* kristala, koje potiče od pravilnoga okupljanja uklopaka u kristalu (57) ili od sraslačkih lamela (49). Broncit i dijalag luče se paralelno smjerom plohe (100), jer se smjerom te plohe nakupila neka mineralna tvar u mnogobrojnim slojevima, koji odvajaju kristal smjerom (100) u mnogobrojne dijelove. Korund se luči paralelno smjerom plohe (0001) zbog sraslačkih lamela, koje teku paralelno sa (0001). Neki se minerali *pravilno lome* smjerom neke kristalne plohe, na pr. kristali apatita smjerom plohe (0001). I lupinasto lučenje i pravilan lom razlikuju se od kalavosti po tom, što i lučenje i pravilan lom idu samo do neke granice, a kalavost je neograničena.

**61. Tlakom mogu u kristalu nastati trajne deformacije.** Ima slučajeva, da se kristali nekih minerala na osobit način deformiraju ostajući većinom pri tom čitavi. Dogadja se to obično onda, kad na kristal djeluje tlak u izvjesnom smjeru. Ako je tlak tolik, da mu kohezija mora popustiti, jedan će se dio čestica početi micati iz svoga dotadanjega položaja te će zauzeti u kristalu nov položaj; ovo pomicanje čestica zovemo *puzanjem*. Puzanje je uvijek pravilno i teče redovito paralelno jednoj plohi, koja se na kristalu razvila ili je na njemu moguća; tu plohu zovemo *plohom puzanja*.

Pravilno puzanje pojedinih dijelova na kristalu može da se vrši na dva načina. Jedan je način, da puzanje teče *paralelno položaju*, u kom su se čestice i do sada nalazile; u tom slučaju pomaknuti dijelovi, koji su u kristalu došli u nov položaj, ostali su paralelni prvotnom položaju (sl. 583.). Taj način puzanja zovemo *translacijom*, a plohe puzanja *translacionim plohama*. Paralelno translacionim plohama P daje se kristal u translacionom smjeru  $t$  tako deformirati, da izgleda, kao da je sastavljen od sklopa ravnina, koje su međusobom paralelno pomaknute. Kod kristala, koji se odlikuju translacijom, vide se na plohama, koje ne leže u zoni  $t$ , paralelna translaciona prutanja okomita na translacionim plohama na pr.



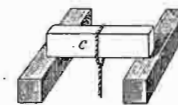
Sl. 583. kod antimonita.

Pojave translacije mogu se osobito lijepo posmatrati kod leda. Ploča leda sastavljena je od bezbroja sitnih individua, koji su iskristalizovani u romboedrijskoj hemiedriji heksagonskoga sustava; led je kristalasti agregat, u kom su pojedini individui tako poredjani, da im je glavna os  $c$  okomita na površinu ledne ploče. Izrežimo od takve ledne ploče četvorostrani stup, komu su dulje plohe paralelne glavnoj osi  $c$ , postavimo ga horizontalno sa glavnom osi tako, da se svojim krajevima dotiče podloge, pa sredinom njegovom prebacimo uzicu, na kojoj se nalazi utez. Što će se dogoditi? Na stup leda djeluje jednostrani tlak i u njegovu domašaju počet će čestice leda puzati; puzanje će teći paralelno plohi  $c$ , a to je osnovni pinakoid (0001). Stup će se deformirati u udubinu i izbočinu, kako pokazuje

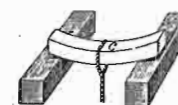
slika 584. Translacija kod leda vrši se dakle paralelno osnovnom pinakoidu, koji je prema tome translaciona ploha. Kad bismo iz ledne ploče izrezali četvorostrani stup tako, da njegova dulja ploha teče paralelno osnovnom pinakoidu  $c$ , pa je postavili na podlogu tako, da je sa plohom  $c$  okrenuta prema posmatraču (sl. 585.), to bi uzica sa utezom ostala bez učinka; kohezija bi se potpuno othrvala jednostranom tlaku ili bi se u slučaju



Sl. 584.



Sl. 585.



Sl. 586.

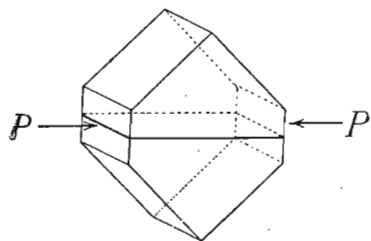
prevelikoga tlaka stup nepravilno slomio. Ako bismo isto tako izrezali stup postavili na podlogu, da ploha  $c$  bude okrenuta gore (sl. 586.), stup bi se pod jednostranim tlakom svinuo u luk. Translacija lednoga stupa bit će nam jasna, ako zamislimo, da je stup sastavljen od samih listića kao što je na pr. sastavljen skup igraćih karata; u jednom smjeru možemo jednostranim tlakom iz skupa karata istisnuti njih nekoliko, u drugom smjeru ostaju karte u svom položaju, a u trećem smjeru savije se čitav skup u luk.

Translacijom se odlikuje nekoliko minerala, na pr. antimonit, tinjac (liskun), zlato, srebro, bakar i t. d. Ona je osobito važna za objašnjavanje gibanja ledenjaka; translacijom pojedinih lednih kristala, od kojih su sastavljeni ledenjaci, stavljaju se čitave mase ledenjaka u gibanje. Translacijom tumačimo i plastičnost nekih kovina.

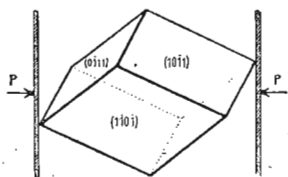
**62. Tlakom mogu kristali da se razviju kao sraslaci.** Drugi je način pravilnoga pomicanja pojedinih dijelova kristala u tom, da puzanje *ne teče paralelno* prvotnom položaju dijelova, koji se miču, nego pri tom puzanju dospijevaju u neki drugi položaj. Ako na pr. heksaedru kamene soli ili heksaedrijskoj kalotini toga minerala pravilno odbrusimo dva suprotna brida, dobit ćemo plohe, koje odgovaraju položaju ploha rompskoga dodekaedra (110). Tlačimo li u smjeru okomitom na plohe, što smo ih dobili brušenjem heksaedrovih bridova, počet će pojedini dijelovi kamene soli puzati u smjeru tlaka, a taj smjer odgovara položaju plohe (110); heksaedar kamene soli može na taj način da bude deformiran smjerom plohe (110), koja je ploha puzanja (sl. 587.).

Na ojednaki način mogu nastati puzanjem i *sraslaci*, ako na kristal djeluje tlak u izvjesnom smjeru. Postavimo na pr. kalcitov osnovni romboedar (10 $\bar{1}$ 1) u prešu tako, da ona tlači na dva njegova ugla (roglja), u kojima se sastaju ovršni i osnovni bridovi (sl. 588.), doći će u kalcitu do pomicanja pojedinih njegovih dijelova u smjeru plohe romboedra  $\frac{1}{2}R = (01\bar{1}2)$ ; pomaknuti dijelovi doći će u položaj sraslaca, a mineralne čestice zauzele

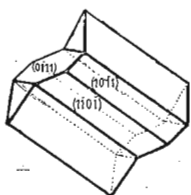
su u tim dijelovima položaj, koji je zaokrenut za  $180^\circ$  spram njihovoga prvotnoga položaja (sl. 589.). Jednake ćemo sraslance dobiti, ako uzmemo kalcitovu kalotinu, koja odgovara osnovnom romboedru  $(10\bar{1}1)$ , a produ-



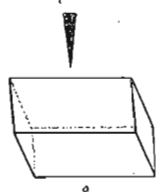
Sl. 587.



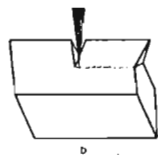
Sl. 588.



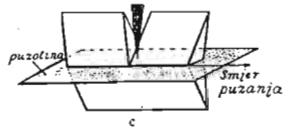
Sl. 589.



a



b



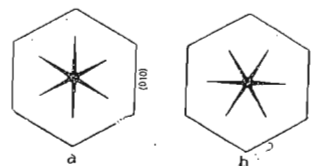
Sl. 590.

ljena je smjerom ovršnoga brida (sl. 590.a). Kalotinu postavimo sa ovršnim bridom na neku podlogu, a na suprotnom ovršnom bridu utiskujemo polako oštricu noža (sl. 590.b); oštrica će polako ulaziti u kalcit kao u kakovo podatno tijelo. Kako oštrica ulazi u kalcit (sl. 590.c), tako se jedan njegov dio pomiče u nov položaj paralelno plohi romboedra  $(01\bar{1}2)$ . Tlakom može se tako raspasti kalcitov kristal u niz sraslačkih lamela, pa u prirodi nalazimo jako često kalcitove individue pune sraslačkih lamela, što je znak, da su individui pretrpjeli neki tlak, koji je uzrokovao razvitak sraslaca. Gdje-gdje takve lamele znadu biti svinute od jakoga tlaka. Sraslance, koji su postali djelovanjem tlaka, zovemo *tlačnim sraslacima* i nalazimo ih kod nekoliko minerala, na pr. kod kalcita, anhidrita, diopsida, dijalağa, salita.

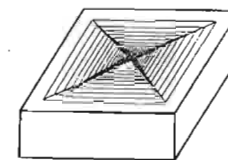
**63. Udarcem ili tlakom postaju u kristalima udarne ili tlačne figure.** Kadikad se u nekim kristalima pojavljuju od udarca ili od tlaka sitne uzane pukotine, koje teku uvijek paralelno izvjesnim kristalnim ploham; to su t. zv. *udarne* ili *tlačne figure*, koje možemo lako i sami dobiti na nekim kristalima. Uzmimo na pr. list tinjca (liskuna), stavimo na njega oštar vršak igle i kratkim udarcem udrimo po igli. U tom času pojavit će se na tinjčevu listu tri jasne pukotine (sl. 591.a), koje se medju sobom tako križaju, da stvaraju šestorotraku zvijezdu; jedna je od njih paralelna sa ravninom simetrije monoklinskoga sustava, a druge dvije, koje su kose,

odgovaraju položaju ploha, što leže u zoni između  $(001)$  i  $(110)$ . Ako isti pokus obavimo utupljenom iglom, ali po igli ne udarimo, nego pritišćemo, opet će se na listu pojaviti tlačne figure u formi šestorotrake zvijezde, samo će figura biti spram prijašnje zakrenuta za  $30^\circ$  (sl. 591.b); t. j. jedan će krak biti paralelan sa ortodomom  $(\bar{1}02)$ , a druga dva sa plohami piramide (133).

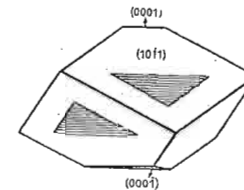
Udarne figure možemo dobiti i na kamenoj soli. Ako udarimo oštrim šiljkom okomito na plohu heksaedra, pojavit će se na njem dvije pukotine (sl. 592.), koje teku paralelno ploham rompskoga dodekaedra  $(110)$ , dakle dijagonalno plohom heksaedra. Dakako da će takve figure na plohi oktaedra imati tri traka, jer će odgovarajući ploham rompskoga dodekaedra biti okomite na bridove između  $(111)$  i  $(001)$ .



Sl. 591.



Sl. 592.



Sl. 593.



Sl. 594.

Udarcem oštrog šiljka okomito na plohu kalcitova romboedra  $(10\bar{1}1)$ , postaje monosimetrijska udarna figura, koja je sastavljena od sraslačkih lamela smjerom  $(01\bar{1}2)$  i od dvije pukotine, što su paralelne sa dva romboedrova brida (sl. 593.). Od udarca po plohi osnovnoga pinakoida  $(0001)$  postat će trisimetrijska udarna figura (sl. 594.), kojoj pukotine teku paralelno ploham prizme II. reda  $(11\bar{2}0)$ .

Udarne i tlačne figure ili njihove pukotine stalno odgovaraju stupnju simetrije kristalnih ploha, pa mogu tako da otkriju na mnogoj plohi njenu prikrivenu simetriju. Tako je na pr. ploha heksaedra kamene soli tetrasimetrijska, ploha osnovnoga pinakoida kalcitova trisimetrijska<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> A. Johnsen: Die Struktureigenschaften der Kristalle. Fortschritte der Mineralogie, Kristallographie und Petrographie, Bd. III. Jena 1913. pag. 91.

Udarne figure možemo dobiti dakako samo na plohama onih minerala, koji su dosta mekani.

**64. Minerali se odlikuju izvjesnom tvrđinom.** Kako o koheziji zavisi kalavost, puzanje, translacija, udarne i tlačne figure, tako o njoj zavisi i tvrđina minerala. Prema tome je tvrđina u kristalizovanom mineralu u raznim smjerovima razna. Što razumjevamo pod tvrđinom? Tvrđina je zapravo čvrstina minerala, koja se očituje u tom, da se mineral opire, kad u nj zadiremo nekim tvrdim predmetom, na pr. vrhom noža. Pri tom se događa, da neke minerale možemo parati, a drugi su tako tvrdi, da odole tome paranju, te se na površini minerala ne zamjećuje nikakva ogrebin.

Kako je tvrđina dosta važno svojstvo minerala, potrebno ju je ispitati, odrediti njezin stupanj. U tu je svrhu mineralog *Mohs* sastavio ljestvicu tvrđine na taj način, da je uzeo 10 minerala, svrstao ih redom od minerala najmanje tvrđine do minerala najveće tvrđine; tako je razdjelio tvrđinu minerala na 10 stupanja odabравši kao mjerilo stupnja ove minerale, gdje je tvrđina kod:

milovke 1,	ortoklasa 6,
gipsa ili kamene soli 2,	kremena 7,
kalcita 3,	topaza 8,
fluorita 4,	korunda 9,
apatita 5,	dijamanta 10.

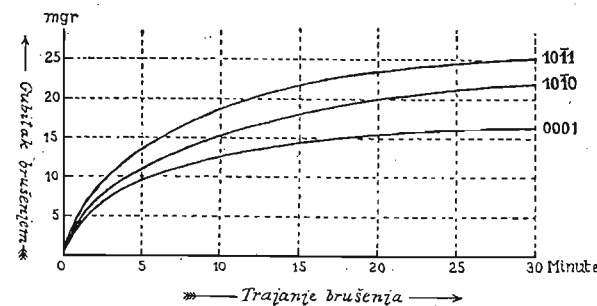
Ovi stupnjevi označuju tek relativnu vrijednost tvrđine minerala; oni kažu samo, da je neki mineral tvrdiji ili mekaniji od drugoga. Tako ne znači na pr. da je gips jedamput tvrdiji od milovke ili jedamput mekaniji od kalcita, nego samo, da je tvrdiji od milovke, a mekaniji od kalcita.

Kolika je razlika između tvrđine pojedinih minerala u skali tvrđine, a po tome u opće među pojedinim mineralima, pokazuju istraživanja, koja obavljamu *Rosiwalovom metodom* brušenja. Pomoću karborunda, komu je tvrđina između 9 i 10, brusimo neki mineral. Što je mineral tvrdji, teže se brusi, stavlja brušenju veći otpor. Rosiwal određuje taj otpor tako, da uzme tačno odvuđnutu količinu praha, na pr. karborundova i na staklenoj ili metalnoj ploči brusi njim plohu minerala, koji istražujemo tako dugo, dok prestane svako djelovanje brušenja karborundom. Mineral se prije i poslije brušenja važe i razlika u težini daje težinu, koja je nastala brušenjem. Iz gubitka težine izračuna se (uzevši u obzir specifičnu težinu) gubitak volumena. Reciproki gubitci volumena jednaki su relativnim tvrđinama. Za minerale u Mohsovoj skali tvrđine našao je Rosiwal ove vrijednosti relativnih tvrđina, uzevši za korund, da mu je tvrđina = 1000:

Mohsova skala:	Relativna tvrđina:	Mohsova skala:	Relativna tvrđina:
1	$\frac{1}{33}$	3	$\frac{9}{2}$
2	$\frac{5}{4}$	4	5

Mohsova skala:	Relativna tvrđina:	Mohsova skala:	Relativna tvrđina:
5	$\frac{13}{2}$	8	175
6	37	9	1000
7	120	10	140000

Dakako ni Rosiwalova metoda brušenja ne daje tačne vrijednosti tvrđine nekoga minerala, jer je vezana za mnoge nedostatke. Tako na pr. djeluje na gubitak težine minerala trajanje brušenja, tlak, broj okretaja pri brušenju, kalavost minerala, gdje se može pri brušenju otkalati po koji sitniji komadić i t. d. *Holmquist* je u toliko preinačio Rosiwalovu metodu, da je uzeo za ploču, na kojoj se vrši brušenje, ravnu plohu nekog drugog minerala, na pr. kremena. Prije brušenja odvagane se i ploča i mineral, kome tražimo tvrđinu; brusi se izvješno vrijeme karborundovim prahom i onda se vaganjem odredi gubitak, koji je postao brušenjem na ploči i na mineralu. Reciproki odnos volumnoga gubitka, koji se izračuna iz gubitka ploče i minerala, daje odnos tvrđine ploče i minerala s obzirom na brušenu plohu; kod kremena je na taj način određena tvrđina na plohi (0001) > (10T0) > (10T1) (sl. 595.).



Sl. 595.

Pri istraživanju tvrđine metodom brušenja vidi se, da je razlika u tvrđini između prvih 5 stupanja Mohsove ljestvice mala; a između 4 i 5 stupnja gotovo nikakva. Velike su razlike među mineralima većega stupnja tvrđine, od 6 — 10 = 37 — 140.000. —

Kad određujemo tvrđinu minerala Mohsovom skalom, uzmemo komadić minerala, njegovu kalotinu, pa po ravnoj i glatkoj plohi paramo jednim od 10 minerala iz skale tvrđine. Ako na pr. neki mineral ne para gipsa a ni gips njega, onda su istoga stupnja tvrđine, dakle tvrđine 2. Ako mineral para gips, a ne para kalcita, onda je veće tvrđine od gipsa, a manje od kalcita; velimo, da je tvrđine 2,5. Kristalasti agregati pokazuju manju tvrđinu negoli njihovi kristalni individui sami za sebe; oštrica, kojom paramo po mineralnom agregatu, lako zadje među zrnje, listiće i vlakanca

i tako se pokazuje agregat mekaniji od pojedinoga individua. Ali ima i takvih agregata, koji mogu biti tvrdji od svojih kristalnih individua. To su obično jako gusti agregati, na pr. agregati borta, koji je tvrdji od dijamanta, ili agregati ahata, koji je tvrdji od kremenca.

Pri paranju po mineralu oštricom ostaje obično iza nje sitan prah i ogrebinca. Ako su minerali podatni i kovki, na pr. zlato, srebro, oštrica će zalaziti u nje teže ili lakše ostavljajući iza sebe ogrebinu; ali nikada praha. Kod mekanih minerala, na pr. kod grafita, nastaje paranjem iza oštrice ogrebinca i sitan prah, koji ne odskače nego se drži oštrice. Kod krutih minerala, na pr. kod kremenca, oštrica stvara ogrebinu i sitan prah, koji pri paranju odskače.

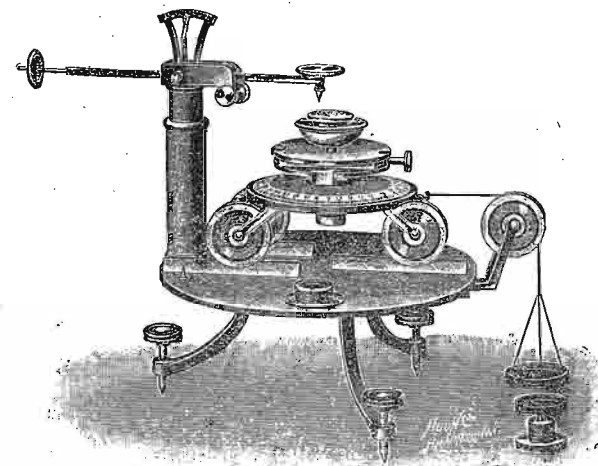
Tvrđina je minerala vrlo različita. Kod nekih, koji se pojavljuju u elementarnom stanju, na pr. srebro, bakar i t. d., nije veća od 3,5; platina, paladij, željezo imaju tvrđinu između 4—5. Kod sulfida grupe piritove (kod pakovina) nalazimo većinom dosta veliku tvrđinu, između 5 i 6,5, ali ima ih i sa tvrđinom ispod 5. Kod sulfida iz grupe galenita (kod sjajnika) koleba tvrđina od 2,5 do 3,5, ali zna kod nekih pasti i na 1. Kod sulfida iz grupe sinjavaca koleba tvrđina između 2,5 i 4,5. Sulfidi iz grupe blistavaca imaju tvrđinu između 1,5—4. Kod oksida i hidrata koleba tvrđina obično između 2—3 i 5—6. Kod haloidnih soli 39 ih ima tvrđinu između 1 i 4, a ostali između 4 i 5. Od karbonata imaju 52 tvrđinu između 1 i 4, a 10 između 4 i 4,5. Sulfati imaju tvrđinu između 1 i 4, isto tako i volframati; silikati između 5 i 6, ali ima ih dakako i ispod i iznad te tvrđine; nijobati i tantalati između 5 i 6,5; fosfati, arsenijati, antimonijati, nitrati i t. d. između 2 i 5, a rijetko kada između 5—6,5.

Da dobijemo tačnije podatke o tvrđini minerala, konstruirao je Seebeck poseban aparat t. zv. *sklerometar*<sup>1)</sup> (sl. 596.), koji je sastavljen od poluge jednakih krakova; na jednom kraju poluge nalazi se s gornje strane zdjelica, na koju se među utezi, a s donje strane ispod zdjelice oštar čelični ili dijamantni šiljak. Pod šiljak dolazi ravna pločica minerala pričvršćena na kolica, pomoću kojih se može pomicati u horizontalnoj ravnini na koju god stranu. Utezima opterećena zdjelica pritište šiljak i on zadire u pločicu minerala; pri horizontalnom pomicanju ostavlja šiljak na pločici ogrebinu i tako težina uteza daje neposredno tvrđinu minerala. Danas se dobiju sklerometri razne konstrukcije, koji su osnovani na Seebeckovu principu.

Kako je tvrđina u kristalizovanim mineralima vektorsko svojstvo, kako zavisi o smjeru, jasno je, da će kristalizovani mineral biti u raznim smjerovima razne tvrđine. Ako pomoću sklerometra određujemo tvrđinu ploče nekoga minerala, dobit ćemo u raznim smjerovima razne utezne težine, dakle razne tvrđine. Unesemo li od neke tačke na mineralnoj ploči pravce, koji su proporcionalni uteznim težinama i spojimo li krajnje tačke tih pravaca, dobit ćemo *krivulju tvrđine*, koja odgovara koheziji, što vlada

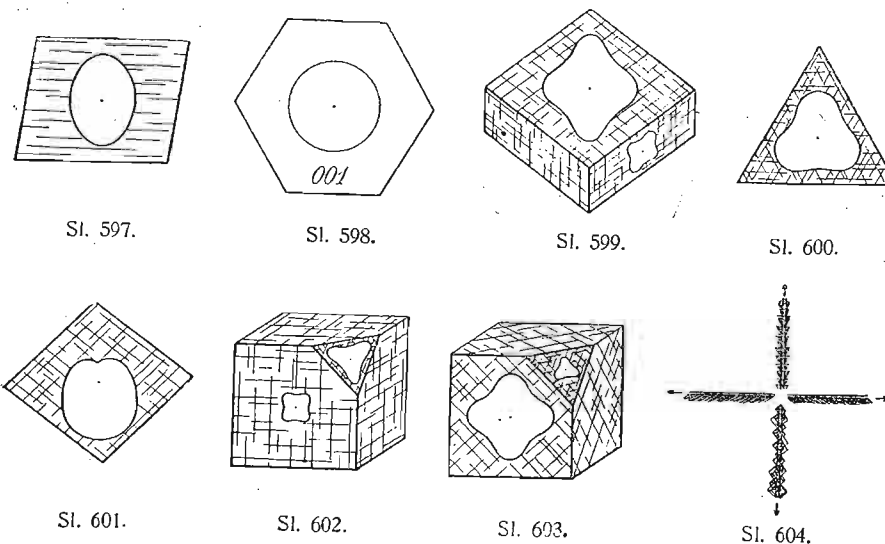
<sup>1)</sup> Od grč. *sklerós*, tvrd i *métron*, mjera.

u toj plohi. Tako ćemo na pr. kod tinjca (liskuna) dobiti na plohi klinopinakoida (010) krivulju tvrđine, koja ima formu elipse (sl. 597.); tu se vidi, da je tvrđina najveća u smjeru okomitom na kalavost, a najmanja u



Sl. 596.

smjeru paralelnom sa kalavošću. Na listovima tinjca, koji su paralelni osnovnom pinakoidu (001), krivulja tvrđine ima formu kruga (sl. 598.), jer



Sl. 597.

Sl. 598.

Sl. 599.

Sl. 600.

Sl. 601.

Sl. 602.

Sl. 603.

Sl. 604.



je na baznim listovima tvrdina u svim smjerovima ista. Kod barita, koji se kala smjerom brahipinakoida (010) i smjerom ortodome (101), dobit ćemo na plohi (010) četvoropupčastu krivulju tvrdine (sl. 599.), iz koje se razabira, da je tvrdina najmanja u smjeru paralelnom plohama (101), najveća u smjeru horizontalnom, a srednja u smjeru vertikalnom. Sličnu krivulju tvrdine dobivamo i na plohama (101). Kod kalcita, koji se kala smjerom romboedra (10 $\bar{1}$ 1), dobit ćemo na plohi osnovnoga pinakoida (0001) (dobijemo je brušenjem romboedrova ugla) tropupčastu krivulju tvrdine (sl. 600.), a na plohi romboedra (10 $\bar{1}$ 1) jabučastu (sl. 601.). Na plohi heksaedra (100) kamene soli, koja se kala smjerom heksaedra, dobit ćemo četvoropupčastu figuru (sl. 602.), iz koje se vidi, da je maksimum tvrdine smjerom dijagonala; na plohi oktaedra (dobijemo je brušenjem kojega heksaedrova ugla), dobit ćemo tropupčastu krivulju tvrdine (sl. 602.), iz koje se razabira, da je tvrdina maksimalna u smjeru prema heksaedrovim bridovima. Na plohi heksaedra (100) fluoritova, koji se kala smjerom plohe oktaedra, dobit ćemo četvoropupčastu krivulju tvrdine (sl. 603.), iz koje se razabira, da je maksimum tvrdine u smjeru okomitom na bridove heksaedra; na plohi oktaedra krivulja je tvrdine tropupčasta, a maksimum tvrdine je u smjeru okomitom na brid između heksaedra i oktaedra.

Razliku u tvrdini pokazuju i same ogrebine, kad ih posmatramo pomoću mikroskopa. Tako su na pr. horizontalne ogrebine na plohi (10 $\bar{1}$ 1) kod kalcita jednake; na njima se vide na desno i na lijevo sitna prutanja kao kakve dlačice (sl. 604.). Na vertikalnim ogrebinama, koje odgovaraju maksimalnoj tvrdini, vide se monosimetrijske figure (sl. 604.).

Krivulje tvrdine možemo dobiti samo na onim kristalima, koji se odlikuju kalavošću. Pri tom je tvrdina na plohama kalavosti najmanja, a na plohama okomitim na kalavost najveća; na pr. kod distena je kalavost smjerom plohe (100) savršena, pa je na toj plohi smjerom kalavosti tvrdina najmanja, 5, a okomito na smjer kalavosti najveća, 7. Ako istražujemo tvrdinu na plohi, koja je okomita na smjer kalavosti, naći ćemo, da je tvrdina u smjeru kalavosti najmanja, pošto je u tom smjeru kohezija najveća, a u smjeru okomitom na kalavost tvrdina je najveća, jer je kohezija u tom smjeru najmanja (60); na pr. tvrdina tinjca na plohi (010) (sl. 597.). Na plohi, koja je paralelna jednoj jedinoj savršenoj kalavosti, tvrdina je često u svim smjerovima jednaka; na pr. na baznom listu tinjca (sl. 598.). Ako je neka ploha nagnuta prema smjeru kalavosti, tvrdina je veća u smjeru od oštrog kuta kalavosti prema tupome, negoli u smjeru od tupoga kuta kalavosti prema oštroj (sl. 605.).

Sl. 605.

Tvrdina je dakle odraz unutrašnje gradje kristala. Kadikad je ona u nekom odnosu prema gustoći minerala, pa od dvije modifikacije neke mi-

neralne tvari ima ona veći molekularni volumen, koja ima manju tvrdinu. I u kemijskom pogledu postoji kadikad neki odnos između tvrdine minerala i njegove topljivosti. Često su jako tvrdi minerali jako teško topljivi (dijamant, korund, topaz i t. d.).

Koliko je tvrdina važna s obzirom na upoznavanje kohezije u pojedinim mineralima, toliko nam u više slučajeva može poslužiti, da raspoznamo jedan mineral od drugoga. Kadikad se možemo namjeriti na pr. na komade kristalasta kremena, gipsa, kalcita. Vanjskim licem ti su komadi jedan drugome često puta jako slični, pa će nam njihova tvrdina odmah odati, koji kristalasti agregat imamo pred sobom. U prirodi je tvrdina takodjer od nekoga uticaja, na pr. kod trošenja minerala, kod erozije, kod raznašanja mineralnoga materijala. Tvrdji mineral teže će se trošiti, teže će podleći djelovanju erozije. Zato ćemo u pijesku naći obično među mineralima ušćuvane one, koji su najtvrdji, na pr. kremen, granat, korund, magnetit, kromit, rutil, cirkon, turmalin.<sup>1)</sup> Tvrdi minerali, na pr. dragulji, ne izgube jako zbog velike tvrdine pri transportu svoju polituru.

Kazali smo, da je tvrdina zapravo čvrstina minerala. Ipak treba istaknuti neku razliku između tvrdine i čvrstine. Dok je tvrdina otpor protiv paranja, čvrstina je otpor protiv drobljenja. U kristalizovanim mineralima zavisna je o smjeru, a možemo je mjeriti utezima. Tako će se na pr. prutić kamene soli izrezan u smjeru okomitom na plohu heksaedra a sa prorezom od 1 mm<sup>2</sup> smrviti pri potezanju, ako na njega objesimo teret od 546 g; ako je prutić izrezañ iz heksaedrove kalotine u smjeru okomitom na plohu rompskoga dodekaedra, raspast će se pod teretom od 1090 g; ako je takav prutić izrezan u smjeru okomitom na plohu oktaedra, raspast će se pod teretom od 1178 g. Kremen prozirac može da podnese u smjeru svoje glavne osi na 1 cm<sup>2</sup> 15.000 kg, a ortoklas 1178 kg. Kod kristalastih agregata zavisni čvrstina o vrsti strukture (13); kocka nefrita može podnijeti na 1 mm<sup>2</sup> 44,22 — 77,59 kg, kocka serpentina na 1 mm<sup>2</sup> 35,55 kg, kocka gustoga krečnjaka 14,03 kg, kocka mramora (zrnasti krečnjak) 10,41 kg.

**65. Minerali su elastični.** Vidjeli smo, kako neke izvanje sile mogu deformirati minerale, te se oni lome, kalaju, pužu i paraju. Sve su te deformacije trajne i ostaju u mineralu i onda, kad je sila, koja ih je uzrokovala, prestala djelovati. Ali neki mineral može pretrpjeti i takve deformacije, koje se na njem zapažaju samo dotle, dok traje ona sila, koja ih je prouzročila. Takve su deformacije moguće samo kod minerala, koji se

<sup>1)</sup> P. Niggli: Lehrbuch der Mineralogie I. Zweite Auflage, pag. 317. Berlin. 1924. Tschermak: Lehrbuch der Mineralogie. Achte Auflage, pag. 163. — A. Rosiwal: Neue Untersuchungsergebnisse über die Härte von Mineralien und Gesteinen. Verhandlungen der k. k. geolog. Reichsanstalt, pag. 475. Wien. 1896. — A. Rosiwal: Die Zermalmungsfestigkeit der Mineralien und Gesteine. Ibidem, pag. 386., 1909. — V. Pöschl: Die Härte der festen Körper, Dresden, 1909.

odlikuju svojstvom *elastičnosti*. Elastičnost je dakle svojstvo nekoga tijela, koje se očituje u tom, da se tijelo djelovanjem neke sile da deformirati, ali čim sila prestane djelovati, prima ono svoj prijašnji oblik.

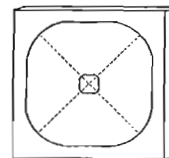
Elastičnost je u amorfnim skalarno, a u kristalizovanim mineralima vektorijalno svojstvo; u amorfnim mineralima je dakle u svim smjerovima jednaka, a u kristalizovanim je u raznim smjerovima različita. Možemo je mjeriti na mineralima tako, da od njih priredimo mali prutić, koji se s pomoću uteza da do izvjesne granice ili produljiti, ili skratiti, ili svinuti, već prema tome, kako djelujemo utezima na prutić. Objesimo li prutić o jedan kraj, a na drugi metnemo uteze, prutić će se prema svojoj elastičnosti jače ili slabije produžiti; stavimo li prutić vertikalno na neku podlogu, a s druge strane tlačimo na njega utezima, on će se prema svojoj elastičnosti više ili manje skratiti; pričvrstimo li prutić jednim krajem u horizontalnom smjeru, a na drugi kraj, koji je slobodan, mećemo uteze, prutić će se prema svojoj elastičnosti jače ili slabije svinuti; svinuti se može i tada, kada jedan i drugi kraj prutića podbočimo, a na nepodbočene krajeve stavljamo uteze.

Pri potezanju dakle, kad prutić objesimo o jedan kraj, a o drugi vješamo uteze, doći će do njegova produženja; odnos veličine produženja prema veličini prutića bez uteza, zovemo *dilatacijom*.<sup>1)</sup> Ako hoćemo, da prutiću sa prerezom od 1 mm<sup>2</sup> damo dilataciju 0,001, t. j. da se prutić produži za tisući dio svoje dužine, potrebno je opteretiti prutić, ako je od olova sa 1,727 kg, ako je od zlata sa 5,585 kg, ako je od srebra sa 7,141 kg, ako je od prozorskoga stakla sa 7,917 kg, ako je od čelika sa 18,809 kg. Ako priredimo takav prutić od nekih minerala, na pr. od teseralnih smjerom heksaedrova brida, a od drugih smjerom glavne osi, onda će za istu veličinu dilatacije biti potrebno kod alauna 1,793 kg, kod kamene soli 4,199 kg, kod barita 5,385 kg, kod kalcita 5,838 kg, kod kremenja 10,300 kg, kod fluorita 14,400 kg, kod pirita 35,310 kg.

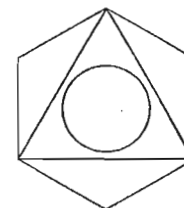
Da je elastičnost u raznim smjerovima razna, uvjerit ćemo se, ako odredimo dilataciju prutića, koje smo izrezali iz raznih smjerova kristala. Tako će na pr. prutići priredjeni od fluorita smjerom heksaedrova brida pokazivati svi istu elastičnost. Ako je kojemu od tih prutića prerez 1 mm<sup>2</sup>, a dužina 4 cm, potrebno je objesiti o njegovu sredinu utez od 9,2 g, da se prutić svine za 0,01 mm. Drugačiju će elastičnost pokazivati prutići fluorita, koje izrežemo iz heksaedra u smjeru paralelnom dijagonali heksaedrove plohe; da se takav jedan prutić, istih dimenzija kao i onaj iz smjera heksaedrova brida, svine za 0,01 mm, potrebno je objesiti o njegovu sredinu utez od 6,3 g. Iz tih pokusa vidi se, da je elastičnost u smjeru heksaedrova brida 1,46 puta veća nego li u smjeru dijagonale heksaedrove plohe; između ove dvije vrijednosti stoje srednje vrijednosti elastičnosti.

<sup>1)</sup> Od lat. *dilatāre*, raširiti.

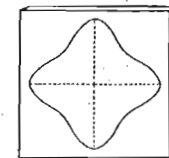
Kad bismo težine uteza, koje su bile potrebne, da se izazove izvjestan stupanj elastičnosti, prikazali dužinama, a dužine unijeli kao pravce od središta kristalne plohe u smjerovima, koji odgovaraju određenim smjerovima elastičnosti, pa krajeve pravaca spojili, dobili bismo *krivulju elastičnosti*, na pr. kod fluorita na plohi heksaedra (sl. 606.), ili na plohi oktaedra (sl. 607.), kod alauna na plohi heksaedra (sl. 608.).



Sl. 606.



Sl. 607.



Sl. 608.

*Savarat*, koji je g. 1829 prvi dokazao, da je elastičnost u nekom kristalizovanom mineralu zavisna o smjeru, određivao je elastičnost proučavajući akustične pojave na zgodno orijentiranim kristalnim pločama. Tako su na pr. ploče priredjene od kremenja smjerom (10 $\bar{1}$ 1) i smjerom (10 $\bar{1}$ 0) davale različitu visinu tona; razlika je iznosila jednu kvintu.

Neki se minerali odlikuju velikom elastičnošću; na pr. tinjci (liskuni). Tanušan listić tinjca, što smo ga dobili kalanjem, tako je elastičan, da ga možemo oko prsta omotati; čim sila, kojom smo ga savijali, popusti, prelazi liskun opet u svoj prijašnji položaj, prima prijašnju formu. Dabome da i u elastičnosti ima neka granica, preko koje ona ne ide i čim mineral prijedje granicu elastičnosti, on se trajno deformira, pa i krši.

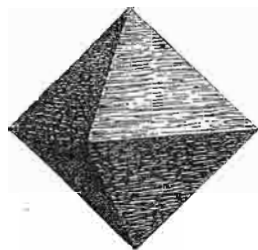
Gdje je u mineralu granica elastičnosti vrlo velika, mineral je jako elastičan, na pr. liskun, azbest; gdje je ta granica vrlo mala, elastičnost se gotovo i ne zapaža, pa se mineral pod izvanjom silom ne savija, nego se, prekoračivši granicu elastičnosti, krši i lomi; to su *krti* ili *lomni minerali*, kakav je na pr. kremen i dijamant. Kad krti ili lomni mineral mrvimo u prah, vrcaju od njega čestice na sve strane. Ima minerala, koji se pod uticajem izvanjih sila daju savijati, ali u tom svinutom položaju ostaju i onda, kada je sila, što ih je svinula, prestala djelovati; takve minerale zovemo *savitljivima*; savitljivi su na pr. *milovka*, gips, klorit. Neki su minerali, na pr. zlato, srebro i t. d. *podatni* ili *kovki*; u takve minerale možemo utisnuti oštricu noža i oštrica će u mineral prodirati, ali ga ne će mrviti u prah. Ako mineral mrvimo u prah, a čestice njegove pri tom ne odskaku, ne vrcaju kao kod krtoga minerala, nego ostaju mirno ležati, zovemo ga *mekim mineralom*; takav je na pr. grafit, steatit, halkozin. Minerale, na pr. željezo, zlato i t. d., koji se daju čekićem rastanjiti u tanušne žice, zovemo

*rastezljivima*. Neki se minerali, na pr. željezo, ne daju lako razbiti, pa ih zovemo *žilavima*. Žilavi su minerali obično oni, koji su sastavljeni od sitnih vlaknaca, što su u mineralu nepravilno isprepletana; takav je na pr. mineral nefrit i jadeit.<sup>1)</sup>

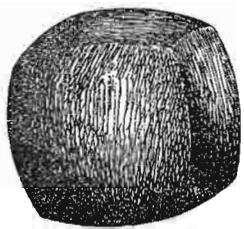
### 66. Minerali se mogu deformirati i djelovanjem kemijskih sila.

Sile, o kojima smo do sada govorili, bile su mehaničke. Ali ima još i drugih sila, koje nastoje mineral da deformiraju, pa se i njima odupire kohezija, ne dajući da se čestice kristala pomaknu iz svoje ravnoteže; to su sile kemijske, koje se očituju u otapanju kristala. Otapanje ne će teći jednako, ono će zavisiti o gradji kristalizovanoga minerala, zavisit će o koheziji, pa ćemo vidjeti, kako će se kristal nekoga minerala otapati u raznim smjerovima raznom brzinom. Kad bi mineral bio amorfan, otapanje bi bilo u svim smjerovima jednako.

Pojave otapanja posve su analogne pojavama rastežnja, pa su, vrlo je vjerovatno, minimima i maksima rastežnja jednaka minimima i maksimima otapanja. Tako će bridovi (ivice) i uglovi (rogljevi) oktaedra, koji su smjerovi maksimalnoga rastežnja, biti ujedno i smjerovi maksimalnoga otapanja, pa ako od kojega oktaedrijskoga minerala, na pr. od magnetita (sl. 609.), priredimo kuglu i nju otapamo u koncentrovanoj sonoj kiselini, otapat će se ona u smjerovima oktaedrovih bridova i uglova najbrže, t. j. iz kugle će se otapanjem razviti kristalna forma heksaedra (sl. 610.). Kod takvoga se otapanja jasno zapaža reciprocitet između rastežnja i otapanja: uglovi (rogljevi) kod rastežnja odgovaraju ploham kod otapanja i obrnuto.



Sl. 609

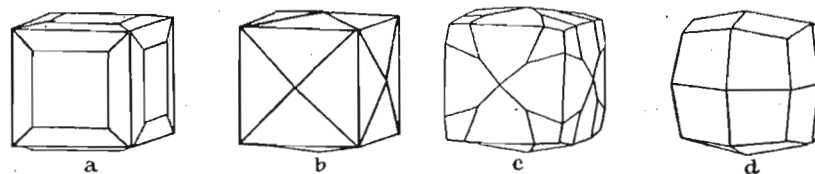


Sl. 610.

Kako se pri otapanju mijenja kristalna forma, pokazuju pokusi. što ih je obavio na kristalima kamene soli mineralog *Schnorr*. On je stavio kocku kamene soli u otopinu kamene soli, koja je bila za 0,25% nezasićena i u kojoj je bilo 5% mokraćevine. U početku otapanja razvijale su se na bridovima heksaedra plohe tetrakisheksaedra (sl. 611.a); one su sve

<sup>1)</sup> *W. Voigt*: Lehrbuch der Kristallphysik, pag. 560. Leipzig und Berlin 1910. — *J. Beckenkamp*: Leitfaden der Kristallographie, pag. 279. Berlin, 1919. — *Mallard*: Traité de cristallographie. Tome II. pag. 19. Paris 1884.

više rasle, a iščezavale su plohe heksaedra, dok ih posvema nestade (sl. 611.b). Sad su se počele na uglovima razvijati plohe deltoidskoga ikozitetraedra (sl. 611.c) potiskivajući plohe tetrakisheksaedra, dok se napokon ne razvije deltoidski ikozitetradar (sl. 611.d).



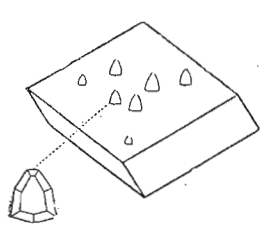
Sl. 611.

Dakako da će se istovrsne plohe, bridovi (ivice) i uglovi (rogljevi) otapati uvijek jednakom brzinom, pa ćemo baš u tom otapanju moći na nekom kristalu upoznati istovrsne njegove elemente. Sve jedno je, koji se kemijski procesi vrše pri takom otapanju; nije od važnosti, da li mineral prelazi baš kao takav u otopinu, na pr. otapanje kamene soli u vodi (ili se prelazom u otopinu kemijski izmijeni), na pr. otapanje magnetita u sonoj kiselini. Za naše je istraživanje važno samo vektorijalno svojstvo otapanja u kristalizovanom mineralu. Da je to svojstvo, zaista vektorijalno, govore pokusi sa otapanjem kugle magnetitove. Prema tome će dakako i razne kristalne plohe biti razne topljivosti. Pokusi *Becke*-ovi pokazali su, da se brzine otapanja fluoritovih ploha (100):(111):(110) u otopini sode odnose kao 2,75:1,00:1,77, t. j. u otopini sode najbrže se otapa ploha heksaedra, polaganije ploha rompskoga dodekaedra, a najpolaganije ploha oktaedra. Drugačiji je odnos u brzini otapanja fluoritovih ploha, ako mjesto otopine sode uzmemo sonu kiselinu; tada se odnosi brzina otapanja plohe (100):(111):(110) kao 1,00:1,48:1,62, t. j. u sonoj se kiselini najbrže otapa ploha rompskoga dodekaedra, polaganije ploha oktaedra, a najpolaganije ploha heksaedra. Prema tome vrsta topila utiče različito na brzinu otapanja pojedinih kristalnih ploha. Do sličnih je rezultata došao i *Hamburg*, koji je otapao kalcit u razrijeđenoj sonoj kiselini uz temperaturu od 15°; on je dobio ove relativne vrijednosti za plohe:

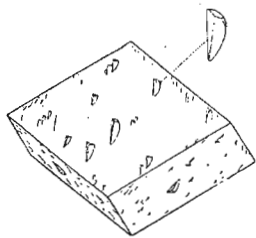
$$(10\bar{1}1) : (02\bar{2}1) : (10\bar{1}0) : (0001) : (01\bar{1}2) : (10\bar{1}4) : (20\bar{2}1) \\ 159 : 149 : 335 : 551 : 580 : 740 : 726$$

Otapanje će odgovarati koheziji, koja vlada u svakoj pojedinoj kristalnoj plohi, pa će zato svaka kristalna ploha imati svoj način otapanja. Na toj je osobini osnovana važna pojava kod kristalizovanih minerala: *izjedine*, koje pomažu često puta kod upoznavanja simetrijskih svojstava kristala. U čemu stoje izjedine i što su one? To je djelomično otapanje kristalnih ploha nekoga minerala. Ako naime na plohu kristala stavimo

sićušnu kapljicu nekoga topila, na pr. kapljicu vode ili koje kiseline, kapljica će početi otapati onaj dio plohe, koji joj je na dohvat. Tok otapanja zavisit će o unutrašnjoj gradnji minerala, pa će zato na površini plohe nastati udubina, što ju je topilo izgrizlo, otopilo. Udubina, koju zovemo izjedinom, imat će izvjesnu formu, na kojoj ćemo redovito zapaziti onaj stupanj simetrije, koji odgovara tome kristalu, pa ćemo tako po formi i položaju izjedina na površini plohe moći zaključiti na stupanj simetrije nekoga minerala. Poznato je na pr. da kalcit i dolomit imaju savršenu kalavost; oba ta minerala daju se lako kalati i njihove kalotine imaju formu romboedra ( $10\bar{1}1$ ). Geometrijski su oba minerala tako slična, da bi čovjek zaključio, da se oba kristalizuju u istom kristalnom razredu, u romboedrijskoj hemiedriji. Ali uzmimo kalotinu kalcita, pa stavimo na koju od romboedrijskih ploha kapljicu sone kiseline. Kiselina će nagristi površinu kalcita; na plohi romboedra razvit će se sitne udubine, izjedine, koje obično tek mikroskopom razabiramo, ali te će izjedine redovito imati monosimetrijsku formu (sl. 612.). Obavimo li isti pokus na kalotini dolomita, razvit će se takodjer izjedine, ali forma njihova ne će biti nikad simetrijska nego asimetrijska (sl. 613.). Tako su eto izjedine otkrile unutrašnju gradju kristala, koju nikako nisu mogla otkriti geometrijska istraživanja: kalcit se kristalizuje dakle u romboedrijskoj hemiedriji, a dolomit u romboedrijskoj te-



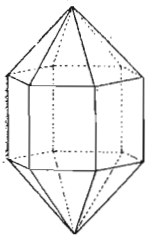
Sl. 612.



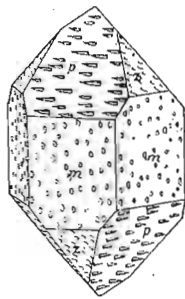
Sl. 613.



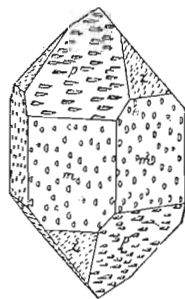
Sl. 614.



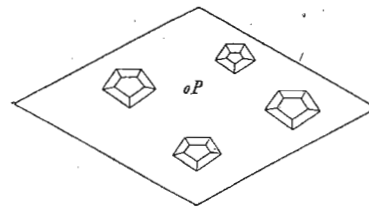
Sl. 615.



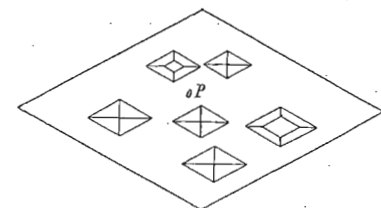
Sl. 616.



Sl. 617.



Sl. 618.



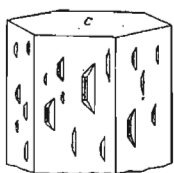
Sl. 619.

tartodriji. Na sličan način možemo dokazati, da kristali kremenca, koji pokazuju obično forme heksagonske holodrije (sl. 615.), nisu holodri nego tetartodri (sl. 616., 617.); pomoću izjedina saznat ćemo, da je neki kremenac lijevi (sl. 616.), a neki desni (sl. 617.).

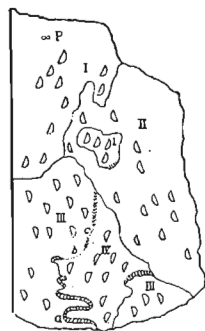
Izjedine su otkrile kod nekoliko minerala njihovu pravu simetriju. Muskovit su držali prije rompskim mineralom, ali izjedine na plohi osnovnoga pinakoida pokazale, da je to monoklinski mineral; sa fluorovodičnom kiselinom stvaraju se naime na plohi (001) monosimetrijske figure (sl. 618.); da je muskovit rompski, izjedine bi morale biti disimetrijske, kao na pr. kod topaza (sl. 619.). Silvin se kristalizuje teseralno u heksaedrima, ali izjedine pokazuju, da mu kristali nisu holodrijski nego hemiedrijski iz razreda plagiedrije; otapanjem razvijaju se na plohi silvinova heksaedra izjedine forme tetrakisheksaedra (sl. 614.), ali svojim položajem odaju asimetriju; kad bi bili holodri, morali bi bridovi izjedine tetrakisheksaedra biti paralelni sa bridovima heksaedra. Iste izjedine dobio je češki mineralog Rosicky na heksaedru kamene soli, pa bi se prema tome i ona kristalizovala u plagiedrijskoj hemiedriji, a ne u holodriji. Apatit se pojavljuje u heksagonskim kristalima, koji su geometrijski holodri, ali je Baumhauer dokazao izjedinama, da se kristalizuje u piramidskoj hemiedriji (sl. 620.); na plohama prizme ne pojavljuju se disimetrijske, nego monosimetrijske figure. Nefelin se pojavljuje takodjer u heksagonskim kristalima, koji su geometrijski holodri, ali je i tu dokazao Baumhauer izjedinama, da to nisu holodrijski kristali nego tetartodrijski; nefelin se naime kristalizuje u hemimorfiji piramidske hemiedrije, pa se na plohama njegove prizme pojavljuju izjedine asimetrijske forme (sl. 621.), a ne disimetrijske.

Djelovanjem nekoga topila na kristalne plohe razvijaju se izjedine kao male udubine, koje su omedjene plohama, što odgovaraju simetriji kristala. No kod nekih pokusa razvijaju se otapanjem na plohama kristala izjedine u formi izbočina, koje su takodjer omedjene plohama, što odgovaraju simetriji kristala. Tako je Becke dobio na plohama pozitivnoga tetraedra sfaleritova izjedine kao trisimetrijske udubine (sl. 622.), a na plohama rompskoga dodekaedra monosimetrijske izbočine (sl. 622.). Na plohama heksaedra galenitova dobio je Becke djelujući sonom kiselinom u početku

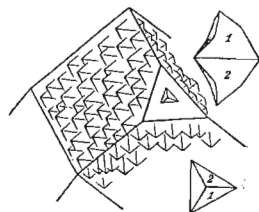
izjedine kao udubine, a nakon duljega djelovanja razvile su se te izjedine kao izbočine, koje su imale formu osmostrane piramide (sl. 623.). Izjedinama je dokazano, da se meteorno željezo kristalizuje teseralno (Widmanstättenove figure) (sl. 624.).



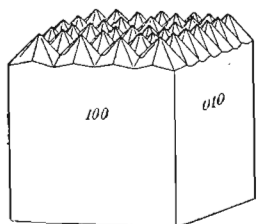
Sl. 620.



Sl. 621.



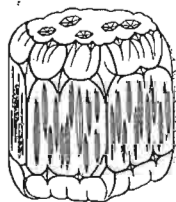
Sl. 622.



Sl. 623.



Sl. 624.



Sl. 625.

Kadikad se nadje kristala nekih minerala sa izjedinama, koje nisu postale vještačkim putem nego djelovanjem kemijskih sila u prirodi. Kada te sile počiju otapati kristal, dakako da će najbrže otapati bridove; zato ćemo na nekim kristalima, na pr. kremenovim (sl. 625.), vidjeti na mjestima bridova, kako su se razvile plohe. Ovakove plohe, koje su nastale otapanjem (otupljivanjem) bridova, zovemo *preruzionim*<sup>1)</sup> *plohama*. Dakako da položaj tih ploha odgovara tačno simetriji kristala, pa se mogu kadkada prikazati racionalnim indeksima.<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Od lat. *prae*, prije i *rodere* glodati.

<sup>2)</sup> A. Ritzel: Kristallisations- und Auflösungs-geschwindigkeit. Fortschritte der Mineralogie, Kristallographie und Petrographie, Bd. I. 1911. pag. 86. Niggli: Lehrbuch der Mineralogie I. Allgemeine Mineralogie. Zweite Auflage, pag. 670. Berlin 1924.

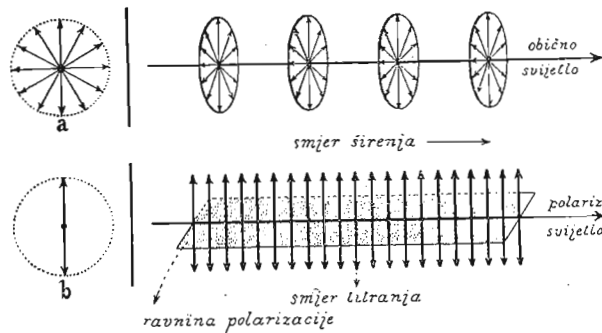
## Optička svojstva minerala.

Od svih fizičkih svojstava, kojima se odlikuju minerali, optička su svojstva bez sumnje najvažnija. Pomoću njihovom možemo lako upoznati svaki mineral, pa bio on kristalizovan ili amorfan; razvio se u jasnim kristalima ili u kristalastim agregatima; dolazio u većim komadima ili u sićušnu prahu. Sva važnost optičkih svojstava leži u tom, što pomažu upoznati neki mineral i onda, kad je nemoguće na njem ispitati budi geometrijska, budi kemijska, budi fizička svojstva, o kojima smo do sada govorili. Geometrijska svojstva minerala možemo samo onda upoznati, ako imamo mineral, koji se razvio u jasnim kristalima; kemijska svojstva moći ćemo ispitati samo onda, ako imamo dovoljno materijala za određivanje nekoga minerala i ako je taj materijal posve čist; jednako tako trebat ćemo dovoljno čista materijala za određivanje specifične težine, a za druga fizička svojstva (za kalavost, tvrđinu i t. d.) treba imati oveće komade minerala. Kod optičkoga istraživanja minerala dostaje tek sićušan komadić, da na njem saznamo, kojemu mineralu pripada. Osobito su optička svojstva minerala važna kod proučavanja mineralnoga sastava stijena. Minerali, što sastavljaju stijene, kadšto su tako sitni, da ih tek pomoću mikroskopa zapažamo, a uz to su još tako među sobom ispremišani, da ih je većinom nemoguće odijeliti jedan od drugoga. U takvom agregatu možemo upoznati pojedine minerale samo na osnovi njihovih optičkih svojstava. Zato je u mineralogiji posvećena osobita pažnja tim svojstvima, koja sama za sebe sačinjavaju poseban ogranak mineralogije, t.zv. *kristalnu optiku*. Kristalna optika osnova je posebnom dijelu geologije, onom dijelu, koji izučava mineralni sastav stijena, osnova je t.zv. *petrografiji* ili nauci o stijenama; bez kristalne optike nema znanja o stijenama, nema znanja o njihovu postojanju i nestajanju.

Optička svojstva minerala očituju se u širenju svjetla u mineralu. To će širenje zavisiti o strukturi minerala, o njegovoj unutrašnjoj gradnji, dakle će biti za svaku mineralnu vrstu stalno. Zašavši u mineral svjetlo će pretrpjeti neke promjene i izazvati neke pojave, koje su značajne za svaku pojedinu mineralnu vrstu. Kristalna optika ima da te pojave proučava pa da iz njih onda uzmognemo zaključiti, kakve je prirode neki mineral.

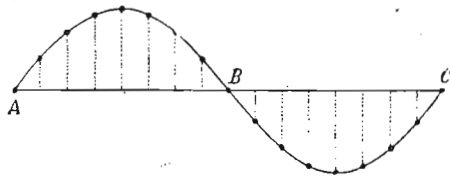
**67. Svjetlo je elektromagnetsko titranje.** Svjetlo dolazi do minerala, može se od njega odraziti, u nj zaći, može kroza nj proći. Kako će se svjetlo ponašati, što će se s njim dogoditi, kad udje u mineral ili kad se od njega odrazi ili kad iz njega izadje, valja to ispitati. Danas shvaćamo svjetlo kao elektromagnetske titraje ili oscilacije, koji se u formi elektromagnetskih valova šire u svemirskom prostoru brzinom od 300.000 km u jednoj sekundi. Titraji su okomiti na smjer širenja svjetla, pa ako se zbivaju u svim smjerovima, koji su okomiti na smjer toga širenja (sl. 626.a),

postaje od njih *obično svjetlo*. Ravnina, u kojoj se zbivaju titraji, zove se *titrajna ravnina*; ona pokazuje smjer titraja. Prema tome je obično svjetlo sastavljeno od neizmjernoga broja titrajnih ravnina. Ali ima i takovoga svjetla, koje postaje od titraja, što se vrše samo u jednom smjeru okomitom na smjer širenja svjetla (sl. 626.b); takovu vrstu svjetla zovemo *polarizovanim* ili *linearno polarizovanim*, jer su titraji linearni (pravocrtni). Prema tome je polarizovano svjetlo karakterizovano samo jednom jedinom titrajnom ravninom; ono se širi u ravnini, koju zovemo *polarizacionom ravni-*



Sl. 626.

*nom* ili *ravninom polarizacije*. Uvijek je *titrajna ravnina* okomita na ravninu polarizacije (sl. 626.b). Golim okom ne možemo nikako razlikovati obično svjetlo od polarizovanoga; da saznamo, koje je svjetlo obično, a koje polarizovano, moramo se poslužiti optičkim spravama, koje propuštaju svjetlo samo u jednoj ravnini. Takove su sprave turmalinska pločica (75), nikolova prizma (87) i t. d. Kod proučavanja optičkih svojstava minerala služi nam vrlo mnogo polarizovano svjetlo,



Sl. 627.

Elektromagnetski valovi, dakle valovi svjetla, šire se u pravcima; te pravce zovemo *zrakama*. Slično kao kod valova, što postaju na mirnoj površini vode, kad na nju bacimo kamečak, tako i kod elektromagnetskih valova imamo „bregove“ i „dolove“. Onaj komad valovitoga gibanja, koji je sastavljen od „brijega“ i „dola“, zovemo *cijelim valom* ili *dužinom vala*, *valovnom du-*

*žinom* (sl. 627. A—C), a bilježimo ga grčkim slovom  $\lambda$ . Komad vala, koji je sastavljen samo od „brijega“ (sl. 627. A—B) ili samo od „dola“ (sl. 627. B—C), sačinjava polovicu vala, pa ga zato bilježimo  $\frac{\lambda}{2}$ . Zraka svjetla sastavljena je od čitavoga niza valova, koji se šire silnom brzinom.

Ako zamislimo, da je val sastavljen od čestica, koje se nalaze u titranju, onda ćemo predstaviti titraj kao gibanje, koje je čestica počela iz svoga mirovališta nekom brzinom; što se čestica više udaljuje od mirovališta, biva njezina brzina sve manja; kad padne na nul, vraćat će se čestica prema mirovalištu sve većom brzinom, i kad dodje u mirovalište, nastavit će gibanje istim smjerom, dok joj brzina opet ne padne na nul, te će se povratiti natrag u mirovalište, gdje će dobiti početnu brzinu i nastaviti drugi titraj. Najveća udaljenost čestice od mirovališta zove se *amplituda titraja*, a vrijeme, što je potrebno, da se izvrši jedan titraj, zove se *titrajno vrijeme* ili *perioda*. Stanje titraja u izvjesnom času, gdje se čestica nalazi u gibanju, ali još nije završila svoj put, zove se *faza*; ona je određena udaljenošću čestice od mirovališta, brzinom i smjerom njena gibanja. Čestice, koje su udaljene jedna od druge za cijeli val  $\lambda$  ili za cijeli višekratnik cijeloga vala, nalaze se u istom titrajnom stanju; one su istih faza, t. j. gibaju se u istom smjeru; čestice, koje su udaljene jedna od druge za po vala  $\frac{\lambda}{2}$  ili za neparni višekratnik polovice vala, nalaze se u različitom titrajnom stanju; one su protivnih faza, t. j. gibaju se u protivnom smjeru. S obzirom na fazu mogli bismo kazati, da je val komad gibanja između dvije čestice istih faza, a dužina vala, da je prostor između dvije čestice istih faza.

Jakost svjetla zavisi o amplitudi titraja, a boja svjetla o titrajnom vremenu. Svako jednobojno ili monohromatsko<sup>1)</sup> svjetlo ima izvjesnu dužinu vala, a svaki val toga svjetla izvjestan broj titraja. Tako je na pr. dužina vala crvenoga svjetla u svemirskom prostoru oko 0,000760 mm, a ljubičastoga 0,000400 mm. Kako je u svemirskom prostoru brzina svjetla svih boja jednaka (iznosi oko 300.000 km u 1 sekundi), to je broj električnih titraja u valovima različite dužine različit; valovi veće dužine imaju manji broj titraja od valova manje dužine. Tako zraka crvenoga svjetla načini u jednoj sekundi 390 bilijona titraja, a zraka ljubičastoga svjetla 750 bilijona. U vidljivom dijelu običnog bijelog svjetla nalaze se titraji svih valovnih dužina, koje leže između valovne dužine crvenoga svjetla i valovne dužine ljubičastoga svjetla. Bijelo je svjetlo prema tome mješavina raznih boja, pa ima načina, kako ga možemo rastaviti u njegove sastavne boje; rastavljanje bijeloga svjetla u sastavne boje zovemo *dis-*

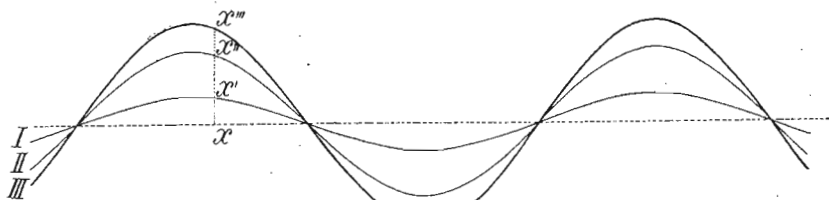
1) Od grč. *mónos*, jedini i *hróma* boja.

perzijom<sup>1)</sup> svijetla. Naše oko može da zapazi samo ono svijetlo, komu se dužine valova kreću između dužine vala crvenoga i ljubičastoga svijetla.

**68. Sastavljanjem dvaju valovitih gibanja u jedno zajedničko gibanje postaje interferencija.** Ako se sastanu dva valovita gibanja (dva vala) istoga titrajnoga vremena, spojit će se u jedno zajedničko gibanje; to spajanje zovemo *interferencijom*<sup>2)</sup>. Valovi, koji se spajaju u jedno zajedničko (rezultantno) gibanje, imaju isti smjer širenja i istu titrajnu ravninu, dok im amplituda može biti različita, a mogu se spojiti u novo zajedničko gibanje ili sa istim ili sa protivnim fazama. Pri tom će se dogoditi, da će se novo rezultantno gibanje ili pojačati ili oslabiti, a u nekim slučajevima i poništiti.

Uzmimo, da se interferencija događa kod linearnoga polarizovanoga svijetla. Da valovi linearnoga polarizovanoga svijetla mogu interferirati, moraju imati 1. isto titrajno vrijeme (moraju biti iste boje), 2. istu titrajnu ravninu, 3. isti smjer širenja.

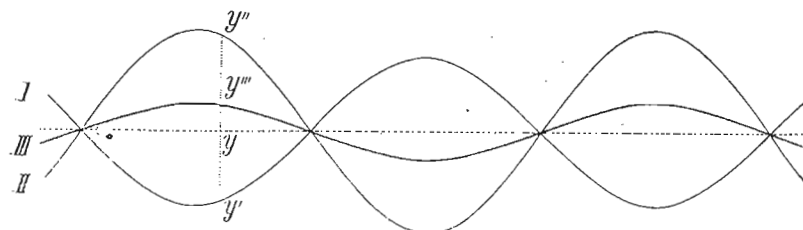
Valovi mogu zaostajati jedan za drugim za razne valovne dužine tako, da u času međusobnoga sastanka postoji među njima neka „razlika u hodu“, t. j. u času sastanka mogu se združiti u jedno gibanje ili sa istim ili sa protivnim fazama. Ako je „razlika u hodu“ između jednoga i drugoga vala  $n\lambda$  ( $n$  je uvijek cijeli broj), interferiraju oba vala sa istim fazama, pa u tom slučaju posljedično (rezultantno) valovito gibanje ima amplitudu, koja je jednaka zbroju amplituda jednoga i drugoga vala i isto titrajno stanje (fazu) kao oba vala. U slici 628., koja prikazuje takvu vrstu interferencije, vidimo da bi amplituda vala I., kad bi se sam za sebe gibao, bila jednaka  $xx'$ , a vala II., kad bi se i on sam za sebe gibao,  $xx''$ ; ali interferencijom združila su se oba vala u novo zajedničko valovito gibanje, u jedan val III., komu je amplituda jednaka  $xx'''$ , t. j. jednaka je zbroju amplituda vala I. i II.; to posljedično valovito gibanje III. ima istu fazu kao i oba vala I. i II. *Kod interferencije valova, koji se sastaju sa istim fazama, jakost se svijetla uvećava.*



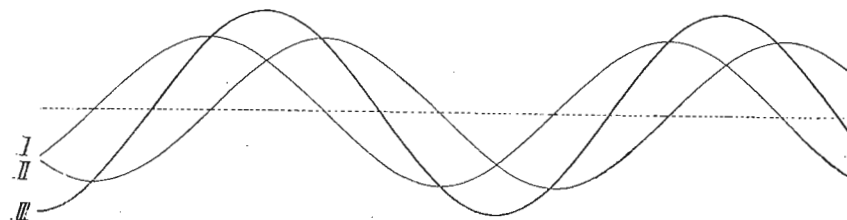
Sl. 628.

<sup>1)</sup> Od lat. *dispérgere*, raspršiti.

<sup>2)</sup> Od engl. *to interfere*, sastati se, a to od lat. *interfêrre*, stupiti među.



Sl. 629.



Sl. 630.

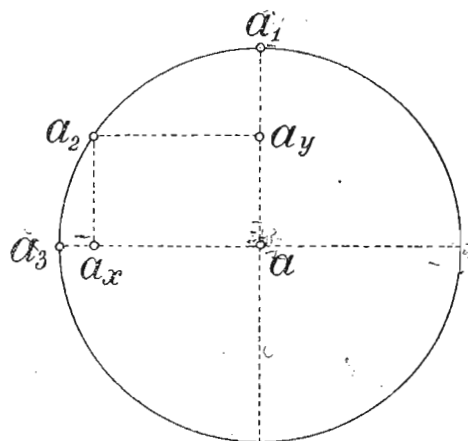
Ako je „razlika u hodu“ između jednoga i drugoga vala  $\frac{1}{2}\lambda$  ili neparni višekratnik  $\frac{1}{2}\lambda$ , interferiraju oba vala sa protivnim fazama, pa u tom slučaju posljedično valovito gibanje ima amplitudu, koja je jednaka razlici amplituda jednoga i drugoga vala. U slici 629. imao bi val I., kad bi sam za sebe djelovao, amplitudu  $yy'$ , a val II., kad bi i on sam za sebe djelovao, amplitudu  $yy''$ ; ali interferencijom združila su se oba vala u jedno zajedničko valovito gibanje, komu je amplituda jednaka  $yy'''$ , t. j. jednaka je razlici amplituda I. i II. vala. Kod ove vrste interferencije ima posljedično valovito gibanje ono titrajno stanje ili fazu, koja je jednaka fazi vala veće amplitude (u sl. 629. ima val III. fazu vala II.). U slučaju, da oba valovita gibanja, koja interferiraju sa protivnim fazama, imaju jednaku amplitudu, amplituda je posljedičnoga valovitoga gibanja dakako jednaka nul, t. j. oba se valovita gibanja u tom slučaju posvema poništavaju. *Kod interferencije valova, koji se sastaju sa protivnim fazama, jakost se svijetla dakle umanjuje, a u izvjesnom slučaju dolazi i do posvemašnjega poništenja svijetla.*

Dakako da „razlika u hodu“ može biti i drugačija negoli u pomenuta dva slučaja; tada će nastati interferencijom posljedično gibanje, koje će imati i drugo titrajno stanje (fazu) i drugu amplitudu (sl. 630.).

Sastanu li se dva vala linearnoga polarizovanoga svijetla, koji imaju isti smjer širenja i isto titrajno vrijeme, ali su im titrajne ravnine međusobno okomite, združiti će se u novo valovito gibanje, u kom se titraji ne

će zbiti u pravcu (liniji, linearno polarizovano svjetlo), nego u krugu. Svjetlo, koje je sastavljeno od valova sa kružnim titrajima, zove se *kružno* ili *cirkularno polarizovano svjetlo*, a sama pojava *kružna* ili *cirkularna polarizacija svjetla*.

Do kružnoga ili cirkularnoga titranja doći će, kad se sastanu dva titraja iste amplitude, kojima su titrajne ravnine jedna na drugoj okomite, a zaostaju jedan za drugim za  $\frac{1}{4}\lambda$  ili općenito za  $(n + \frac{1}{4})\lambda$ . Da svaki od ovih titraja (sl. 631.) djeluje sam za sebe, gibao bi se jedan u smjeru  $aa_1$ , a drugi u smjeru  $aa_2$ , te bi prvi titraj, kad bi sam djelovao, dospio za  $\frac{1}{4}$  titrajnoga vremena do  $a_1$ , a drugi bi se titraj, jer zaostaje za prvim za  $\frac{1}{4}\lambda$ ,



Sl. 631.

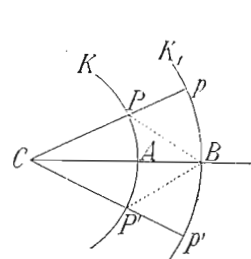
nalazio kod  $a$ . U onaj čas, kad bi se prvi titraj vraćao od  $a_1$  prema  $a$ , počeo bi svoje gibanje drugi titraj, i kad bi prvi titraj dospio do  $a_y$ , dospio bi drugi titraj, kad bi sam djelovao, do  $a_x$ . Kako oba titraja zajedno djeluju jedan na drugoga, to po paralelogramu sila ne će dospjeti ni do  $a_y$  ni do  $a_x$ , nego će se združiti u jedan titraj, koji će dospjeti do  $a_2$ . Nakon  $\frac{1}{2}$  titrajnoga vremena dospio bi prvi titraj do  $a$ , drugi do  $a_3$  i t.d. Posljedični titraj, koji postaje sastavljanjem dvaju titraja, giba se u krugu, kao što bi se gibalo na pr. i njihalo, kad bi mu dali dva jednako jaka udarca i to jedan u nekom smjeru, a zatim u momentu najvećega njihanja drugi udarac u smjeru okomitom na smjer prvoga udarca.

Kad amplituda u oba titraja ne bi bila jednaka ili kad jedan titraj ne bi zaostajao za drugim za  $\frac{1}{4}\lambda$  ili kad bi titrajne ravnine bile medju-

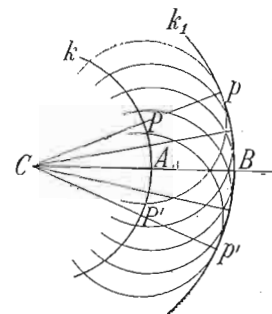
sobom kose, oba bi se titraja združila u jedan titraj, koji bi se gibao eliptično; na taj način može da dodje do *eliptične polarizacije svjetla*.

**69. Svjetlo se širi u amorfnim i teseralnim mineralima u svim smjerovima jednakom brzinom.** Kad svjetlo prolazi zrakom ili vodom, širi se ono u pravcima na sve strane jednakom brzinom. Jednako će se tako širiti na sve strane jednakom brzinom, kad zadje u koji amorfni ili teseralan mineral. Prema tome je širenje svjetla u amorfnim i teseralnim mineralima skalarno svojstvo, jer je nezavisno o smjeru u mineralu. Minerali, u kojima se svjetlo širi na sve strane jednakom brzinom, zovu se optički *izotropni minerali*; takvi su amorfni i teseralni minerali. *Huyghens* je na slijedeći način konstruirao širenje svjetla u izotropnom tijelu:

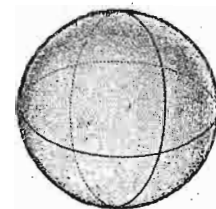
Kad dodje do valovitoga gibanja svjetla izvjesnoga titrajnoga vremena u kojem izotropnom tijelu, to će se od tačke C (sl. 632.), gdje je gibanje počelo, širiti valovi u svim smjerovima jednakom brzinom; nakon cijeloga titrajnoga vremena T dospjet će svaki pojedini val do neke tačke, na pr. do tačke A, P, P'..., koja će biti udaljena od ishodišne tačke gibanja C za  $\lambda$ ; t. j. u titrajnom vremenu T dospjet će valovi na površinu kugle K, kojoj će polumjer imati dužinu  $\lambda$ . U taj čas počet će u svakoj tački na pr. u tački A, P, P'... na površini kugle K novo valovito gibanje, koje će se dakako širiti na sve strane jednakom brzinom i nakon titrajnoga vremena 2T dospjet će ti valovi na površinu kugle  $K_1$ , koja će imati polumjer  $2\lambda$ . Kugla  $k_1$  omatat će sve one kugle, koje su postale izmedju titrajnoga vremena T i 2T (sl. 633.). Unesemo li od ishodišne tačke C, u kojoj je počelo valovito gibanje, na sve strane pravce, koji su proporcionalni valovnim dužinama, sačinjavat će krajnje tačke svih tih pravaca površinu, koju zovemo *valovnom plohom* gibanja, koje je počelo u prvoj, ishodišnoj tački C. Forma je te plohe kugla, pa velimo, da je u *amorfnim i teseralnim mineralima valovna ploha svjetla kugla* (sl. 634.).



Sl. 632.



Sl. 633.



Sl. 634.

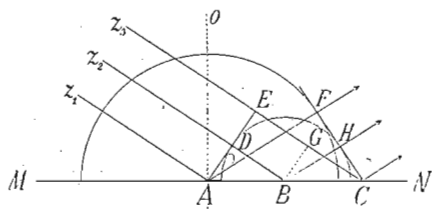
Tačke AB, P, P' (sl. 633.), do kojih dolazi postepeno nakon titrajnoga vremena T valovito gibanje iz ishodišta C, leže sve na pravcima;



zato je valovito gibanje svjetla pravocrtno ili linearno. Ako sa ishodištem C spojimo sve tačke, gdje se valovne plohe, koje su postale izmedju titrajnoga vremena  $T$  i  $2T$ , dodiruju površine kugle  $k_1$ , kojoj je polumjer  $2\lambda$ , dobit ćemo pravce, koji odgovaraju zraki svake pojedine valovne plohe. Ploha, kojoj su polumjeri pojedine zrake, zove se još i *ploha zrake*, a tangencijalna ravnina na plohu zrake jest *fronta zrake* ili *fronta*. Prema tome je zraka neke fronte pravac izmedju centra valovne plohe i tačke, u kojoj fronta zrake dodiruje plohu zrake ili valovnu plohu.

**70. Svijetlo se od minerala odrazuje.** Kad svijetlo dodje do minerala (ili uopće do kojega tijela), ono u nj zalazi. Ali nikad ne zalazi u mineral sve svijetlo; jedan se dio njegov od minerala odrazi ili reflektira. Tu pojavu zovemo *odrazom* ili *refleksijom svijetla*. Što je površina minerala ravnija i gladja, odraz je svijetla jači. Po *Huyghensu* možemo konstruirati odraz svijetla ovako:

Neka na granicu MN (sl. 635.) dvaju izotropnih tijela pada svežanj paralelnih zraka  $z_1, z_2, z_3$  pod nekim kutom. U času, kada zraka  $z_1$  dospije na granicu MN kod A, imaju sve tri zrake frontu ADE. U vrijeme, kada zraka  $z_3$  dospije na granicu kod C, dospije odražena zraka od A do neke tačke na polukugli, koju ćemo konstruirati oko tačke A pomoću polumjera EC; tangencijalna ravnina iz C dotiče polukuglu kod F i do te



Sl. 635.

tačke dopire odražena zraka AF. Kad zraka  $z_3$  dospije do C, u to vrijeme dospije i odražena zraka od B do neke tačke na polukugli, koju ćemo konstruirati oko tačke B pomoću polumjera GC; tangencijalna ravnina iz točke C dotiče se polukugle kod H i do te tačke dospije odražena zraka BH. Obje odražene zrake imaju istu tangencijalnu ravninu za frontu, t. j. ona je tangencijalna ravnina za sve valovne plohe. Iz konstrukcije se razabira da je  $AF = CE$ , pa kako oba pravokutna trokuta ACF i ACE imaju zajedničku hipotenuzu, to je kut CAF jednak kutu ACE; isto je tako  $BH = CG$  i kut CBH jednak kutu BCG, t. j. odražene zrake AF i BH isto su tako međusobno paralelne kao i sražene zrake  $z_1, z_2, z_3$ . Njihova zajednička fronta CHF čini sa MN isti kut kao i fronta ADE, samo su obje fronte različito položene prema okomici OA. Neka bude kut, što

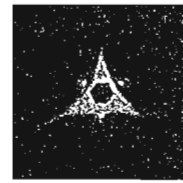
ga čine sražene zrake  $z_1, z_2, z_3$ , sa okomicom OA, *kut sraza*, ravnina kroz sražene zrake i okomicom OA neka bude *ravnina sraza*, a kut, što ga čine odražene zrake sa okomicom OA, neka bude *kut odraza*, onda zakon refleksije svijetla glasi: *Odražena i sražena zraka leže u istoj ravnini (ravnini sraza), a kut odraza jednak je kutu sraza.*

Odras ili refleksija svijetla važna je kod određivanja plošnih kutova pomoću goniometra (18). O njoj zavisi i sjajnost minerala (77), svojstvo; koje često puta pomaže kod raspoznavanja minerala, pa još neke druge osobine minerala, na pr. blistanje.

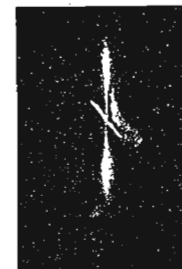
Ako se na kristalnim ploham nalaze neke pravilne udubine i izbočine, može na takvim ploham doći do refleksa, koji imaju izvjesnu formu. Takve reflekske, koji se odlikuju nekom formom, zovemo *svjetlenim figurama*; te su figure uvijek u skladu sa simetrijskom prirodom plohe. Tako na pr. izjedine kalcita na plohi romboedra (10 $\bar{1}$ 1) daju monosimetrijsku svjetlenu figuru (sl. 636.); na plohi (0001) trisimetrijsku (sl. 637.); izjedine na plohi kremenova romboedra daju asimetrijsku svjetlenu figuru; lijevi kremen (sl. 638.) dat će svjetlenu figuru u drugom položaju negoli desni (sl. 639.).



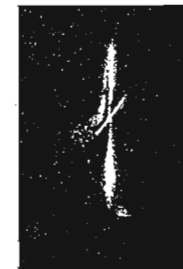
Sl. 636.



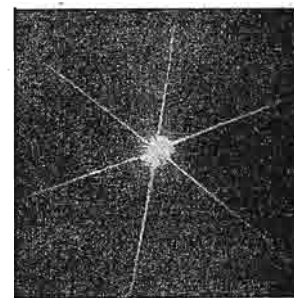
Sl. 637.



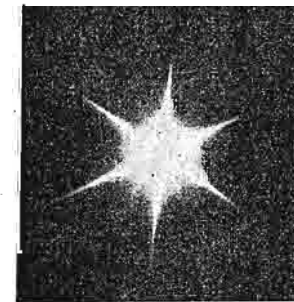
Sl. 638.



Sl. 639.



Sl. 640.



Sl. 641.

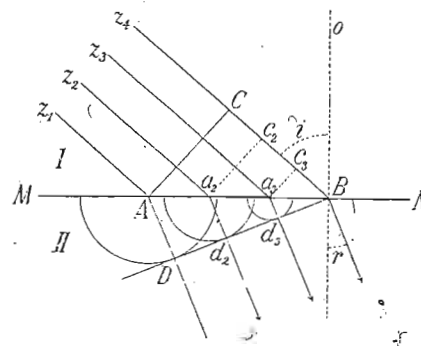
Na svjetlene figure podsjećaju pojave t. zv. *asterizma*<sup>1)</sup>, koje su u vezi sa refleksijom svijetla. Neki naime minerali, koji su puni pravilno poredanih uklopaka ili negativnih kristala (57), pokazuju u izvjesnom smjeru zvjezdastu svjetlenu figuru, kada kroz mineral gledamo prema izvoru svijetla, na pr. prema plamenu svjetiljke. Ako priredimo na pr. od nekih safira pločicu, koja je brušena okomito na glavnu os, pa kroz tu pločicu posmatramo koji izvor svijetla, vidjet će se šestorostraka zvijezda (sl. 640.). Jednako ćemo takovu zvijezdu vidjeti, ako odozgo gledamo safir, koji je brušen u formi polukugle. Tschermak misli, da ta svjetlena pojava potiče od sićušnih šupljina (negativnih kristala), koje su se poredale paralelno plohama šestorostrane prizme, dok je *O. Volger* dovodi u vezu sa sraslačkim lamelama, koje teku paralelno sa tri plohe safirova romboedra. Safire, koji pokazuju svjetlenu zvjezdastu figuru, zovemo zvjezdastim safirima. Sličnim asterizmom odlikuju se neki tinjci (liskuni), na pr. muskoviti od South-Burgess u Kanadi. Ako posmatramo kroz listić muskovita plamen svjetiljke, vidjet ćemo opet svjetlenu figuru u formi zvijezde; figura je sastavljena od šest jačih i šest slabijih trakova (sl. 641.). Ta svjetlena pojava asterizma uzrokovana je sitnim uklopcima igličasta rutila. Igllice rutila poredale su se u muskovitu u tri različita smjera sijajući se pod kutom (uglom) od 60°. Vlakanati minerali, ako ih izbrusimo u formi kugle ili ovalno, reflektiraju svjetlo, koje se pri pomicanju minerala prelijeva i pomiče. Takvo pomicanje svijetla možemo motriti na kuglicama izbrušanim od vlaknatoga gipsa.

**71. Optički izotropni minerali lome svjetlo jedamput; oni su jednolomni.** Kada zraka svijetla zalazi pod kosim kutom iz jednoga sredstva u drugo, ona se lomi. Lako to možemo posmatrati, uronimo li kosim smjerom u vodu šipku, prut ili štap. Pričinja nam se tada, kao da se šipka u vodi slomila. Slična pojava događa se i sa zrakom svijetla, kad na pr. iz uzduha zalazi pod kosim kutom u koji prozirni izotropni mineral (amorfni ili teseralan). Zašavši u mineral, dospjela je zraka iz rjedjega sredstva, iz uzduha, u optički gušće sredstvo, u mineral, i tu će se širiti manjom brzinom, koja je zavisna o unutrašnjoj gradnji minerala, t. j. zraka će skrenuti od svoga kosoga smjera, s kojim je ušla u mineral; ona će se lomiti k okomici. Minerale, u kojima se svjetlo na taj način lomi, zovemo *jednolomnim mineralima*. Po *Huyghensu* možemo konstruirati lom svijetla u izotropnom tijelu ovako:

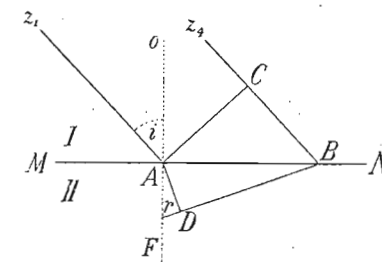
Na granicu MN dvaju izotropnih tijela (sl. 642.) pada svežanj paralelnih zraka  $z_1, z_2, z_3, z_4$  pod kosim kutom. Kad zraka  $z_1$  dospije iz tijela I. na granicu kod A, imaju sve zrake frontu AC. Od tačke A zalazi sada zraka  $z_1$  iz tijela I., koje je rjedje, u tijelo II., koje je gušće, pa se u njem

<sup>1)</sup> Od grč. *astér*, zvijezda.

širi manjom brzinom. Ako je brzina u tijelu II. za polovicu, manja od brzine u tijelu I., to će u vrijeme, dok zraka  $z_4$  prevali u tijelu I. put CB, prevaliti zraka  $z_1$ , koja je zašla u tijelo II., put, koji je za polovicu manji od puta CB. Zraka  $z_1$  dospjet će tako do neke tačke na polukugli, koju ćemo konstruirati oko tačke A sa polumjerom  $AD = \frac{1}{2} CB$ . Zraka  $z_2$  dospjet će do granice u tački  $a_2$  u času, kad zraka  $z_4$  dospije do tačke  $c_2$ ; dok zraka  $z_1$  prevali u tijelu I. put  $c_2B$ , prevalit će zraka  $z_2$  u tijelu II. za polovicu manji put i dospjet će do neke tačke na polukugli, koju ćemo konstruirati oko tačke  $a_2$  sa polumjerom  $a_2d_2 = \frac{1}{2} c_2B$ . Jednako će tako zraka  $z_3$  dospjeti do granice u tački  $a_3$  u času, kad  $z_4$  dospije do tačke  $c_3$ . Dok  $z_4$  prevali put  $c_3B$ , prevalit će  $z_3$  u tijelu II. za polovicu manji put i doći će do neke tačke na polukugli, koju ćemo konstruirati sa polumjerom  $a_3d_3 = \frac{1}{2} c_3B$ . Sve slomljene zrake imaju zajedničku frontu BD, koja se razlikuje od fronte AC svojim smjerom; one leže u istoj ravnini sraza kao i sražene zrake  $z_1, z_2, z_3, z_4$ , samo su promijenile svoj smjer; one su slomljene u smjeru prema okomici.



Sl. 642.



Sl. 643.

Kako se iz konstrukcije refleksije svijetla može izvesti zakon refleksije svijetla, tako se može iz konstrukcije loma svijetla izvesti zakon loma svijetla: Duzine CB i AD (sl. 643.) stoje u odnosu kao brzine širenja valovitoga gibanja u I. i II. tijelu; neka bude brzina u tijelu I. =  $v$ , u tijelu II. =  $v'$ , onda je:

$$\frac{BC}{AD} = \frac{v}{v'}$$

Kut sraza  $i = \sphericalangle z_1AO = \sphericalangle BAC$ , a kut loma  $r = \sphericalangle DAF = \sphericalangle DBA$ . Pravokutni trokuti BCA i BDA imaju zajedničku hipotenuzu BA. U trokutu BCA je:

$$\frac{BC}{BA} = \sin \sphericalangle BAC = \sin i;$$

u trokutu BDA je:

$$\frac{DA}{BA} = \sin \sphericalangle DBA = \sin r.$$

Ako oba ova izražaja jedan sa drugim podijelimo, dobit ćemo:

$$\frac{BC}{DA} = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v}{v'}.$$

Prema tome se sinus kuta sraza i sinus kuta loma odnose kao brzine širenja svjetla u prvom i drugom tijelu. Odnos  $\frac{v}{v'}$  zove se *indeks loma* ili *ekspONENT loma* i bilježimo ga slovom  $n$ ; dakle je:

$$n = \frac{v}{v'} = \frac{\sin r}{\sin i}.$$

Kamena so ima eksponent loma  $n = 1,5444$  za Na - svjetlo; to znači, da je sinus kuta sraza zrake, koja je ušla u mineral (kameni so), 1,5444 puta veći od sinusa kuta loma te zrake. Jednolomni minerali imaju obično eksponent loma svjetla između 1 i 2. Kod malo njih, kod onih na pr., koji su dijamantne sjajnosti, prelazi eksponent loma preko 2. Zlato ima  $n = 0,38$  (za crvenu boju), srebro  $n = 0,181$  (za žutu boju), fluorit  $n = 1,433$  (za žutu boju), dijamant  $n = 2,427$  (za zelenu boju) i t. d. Što je mineral optički gušći, eksponent je loma veći.

Eksponent loma svjetla važno je svojstvo minerala, jer je za svaku mineralnu vrstu stalan. On je uvijek zavisao o valovnoj dužini svjetla; za svaku boju ima mineral drugi eksponent loma; svaka se boja drugačije lomi u mineralu. Zato, kad određujemo eksponent loma svjetla, moramo uvijek imati monohromatsko ili jednobožno svjetlo. Puštamo li bijelo svjetlo da pada na mineral, svaka će se boja, od koje je sastavljeno bijelo svjetlo, lomiti pod drugim kutom, t. j. bijelo će se svjetlo raspršiti u svoje sastavne boje, doći će do disperzije bijelog svjetla. Što je dužina vala svjetla veća, to je eksponent loma svjetla manji; prema tome će eksponent loma svjetla u mineralu za ljubičaste zrake biti najveći, a za crvene najmanji. Kako eksponent loma zavisi o valovnoj dužini svjetla, neka pokažu ovi primjeri:

litijsko svjetlo (crveno)	natrijsko svjetlo (žuto)	talijsko svjetlo (zeleno)
fluorit 1,432	1,433	1,435
granat 1,739	1,743	1,748
dijamant 2,413	2,419	2,429.

Budući da je u izotropnim mineralima valovna ploha svjetla kugla, bit će indeks loma svjetla za izvjesnu boju u svim smjerovima isti, t. j. izotropni minerali imaju samo jedan lom (indeks) svjetla. Stoji to dakako

do unutrašnje gradje minerala. Teseralni mineral na pr. tako je gradjen, da njegovi kristali imaju tri jednako duge osi, koje su jedna na drugoj okomite, pa je svjetlo u smjeru tih osi jednake brzine. Poradi toga je i valovna ploha svjetla u takvim kristalima kugla. Dakako, da je i svaki prerez sredinom kugle krug, a njegovi polumjeri, kojih ima neizmjereno mnogo, predočuju pravce, u kojima se svjetlo širi; svi su polumjeri jednake dužine, dakle je i brzina svjetla svagdje jednaka, a prema tome i lom svjetla mora biti svagdje jednak, jer je on recipročna vrijednost brzine svjetla. Radi te veze sa indeksom loma zove se ovakova ploha *optička ploha indeksa* ili *indikatriks*. Indikatriks je u optički izotropnim mineralima kugla.

**72. Minerali mogu potpuno odraziti svjetlo; potpuni odraz ili totalna refleksija.** Kad svjetlo dolazi do minerala, jedan dio njegov ulazi u mineral, a jedan se dio svjetla odrazi. Ali ima slučajeva, kada svjetlo uopće ne ulazi u mineral, nego se od njega potpuno odrazi (totalno reflektira). To se događa onda, kad svjetlo zalazi iz gušćega tijela u rjedje, dakle, kad dolazi iz tijela, koje ima veći eksponent loma od minerala, u koji zalazi.

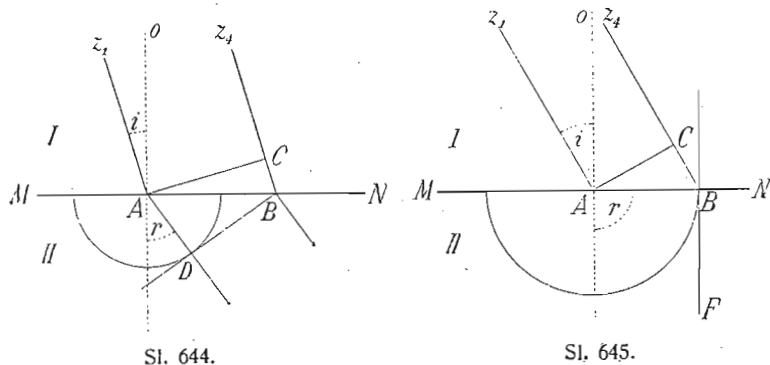
Kad smo govorili o lomu svjetla, zaustavili smo se kod onoga slučaja, gdje je svjetlo ulazilo iz rjedjega tijela (na pr. iz uzduha) u gušće (na pr. u mineral) t. j. gdje je  $v > v'$  a prema tome  $n > 1$ . To se svjetlo lomilo k okomici, pa je kut loma  $r$  bio manji od kuta sraza  $i$ . Ali dogodi li se, da je tijelo, iz kojega ulazi svjetlo u mineral, gušće od minerala, t. j. da je  $v' > v$ , a prema tome  $n < 1$ , svjetlo će se u mineralu širiti većom brzinom i lomit će se prema tome od okomice; kut loma  $r$  bit će veći od kuta sraza  $i$ . Kako raste kut sraza  $i$ , rast će i kut loma  $r$ , t. j. slomljena zraka sve će se više odmicati od okomice, pa nema sumnje, da će u nekom času kut sraza  $i$  biti baš toliki, da će slomljena zraka biti toliko otklonjena od okomice, te će se širiti baš na granici između jednoga i drugoga tijela. Zraka svjetla nije uopće ušla u mineral, nego se širi na granici minerala i onoga gušćega tijela; slomljena zraka čini sa okomicom kut od  $90^\circ$ , t. j.  $r = 90^\circ$ . Onaj kut sraza  $i$ , uz koji kut loma  $r$  bude jednak  $90^\circ$ , zove se *granični kut* potpunoga odraza ili totalne refleksije, a sama pojava *totalna refleksija*. Totalna refleksija postaje dakle onda, kad bude  $r = 90^\circ$ , a to se događa, kad je  $\sin i = n$ :

$$n = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\sin i}{\sin 90^\circ} = \frac{\sin i}{1}.$$

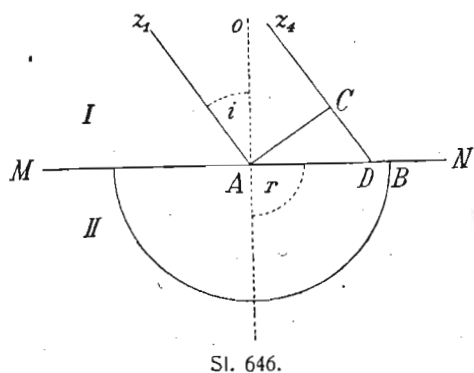
Ako je kut sraza  $i$  veći od graničnoga kuta totalne refleksije, t. j. ako je kut sraza  $i$  veći od onoga kuta, uz koji slomljena zraka čini sa okomicom  $90^\circ$ , onda uopće ne dolazi do loma, nego se sve svjetlo reflektira.

Po *Huyghensu* možemo konstruirati lom svjetla, kad ono ulazi iz gušćega tijela u rjedje, ovako:

Na granicu MN (sl. 644.) između gušćega i rjeđjega tijela pada svežanj paralelnih zraka  $z_1 - z_4$ . U tijelu II. neka bude brzina svijetla dvaput tolika, kolika je u tijelu I., t. j.  $n = \frac{1}{2}$ . U času, kada zraka  $z_1$  dospije na granicu kod A, imaju zrake frontu AC. Dok zraka  $z_1$  prevali put BC, dospjet će slomljena zraka od tačke A do neke tačke na polukugli, koju ćemo konstruirati oko tačke A sa polumjerom  $AD = 2BC$ . Okomica na tangencijalnu ravninu BD kaže smjer slomljene zrake AD. Bude li  $\sin i = n$ , bit će  $r = 90^\circ$ , kako se to razabira iz slike 645., gdje je kut sraza  $i$  tako



velik, da je  $\sin i = \sin \angle CAB = \frac{BC}{BA} = n = \frac{1}{2}$ ; dakle je  $BA = 2BC$ . Dok zraka  $z_4$  prevali put BC, dospjet će slomljena zraka od tačke A do neke tačke



na polukugli, koju ćemo konstruirati oko tačke A pomoću polumjera  $AB = 2BC$ ; fronta slomljene zrake bit će tangencijalna ravnina BF, t. j. slomljena će se zraka širiti na granici između jednoga i drugoga tijela, dakle

u MN. Kad bi kut sraza  $i$  bio još veći (sl. 646.), a brzina u tijelu II. ostala ista, t. j. dvaput veća nego u tijelu I., valovna ploha zrake u tijelu II. bila bi kugla, koju bismo mogli konstruirati oko tačke A sa polumjerom  $AB = 2CD$ . Na tu se kuglu ne može iz tačke D položiti tangencijalna ravnina, jer tačka D leži izvan te kugle; u tom slučaju dakle nema nikakove fronte, pa prema tome ni slomljene zrake, t. j. zraka  $z_1$  uopće se ne lomi, nego se reflektira. Možemo kazati: sve zrake, koje padaju pod manjim kutom negoli je granični kut totalne refleksije, lome se od okomice, a sve zrake, koje padaju pod većim kutom negoli je granični kut totalne refleksije, reflektiraju se.

Totalna refleksija uzrok je nekim optičkim pojavama, što ih kadikad susrećemo kod minerala. Od nje potiče na pr. ono jako i oštro svjetljenje i blistanje kod brušenih dragulja, naročito kod dijamanta. Kod mikroskopskoga proučavanja minerala u izbruscima vidimo često sitne kuglice obrubljene crnim rubom; to su mjehurići zraka, plina ili stakla, kojima crni rub potiče od totalne refleksije. I mnoge sitne pukotine, koje znadu biti vrlo različite forme, pokazuju se kod mikroskopskoga istraživanja posvema crne, što potiče opet od totalne refleksije; takve crne pukotinicne čine utisak, kao da su to uklopči neke neprozirne tvari. Ali najveću važnost ima totalna refleksija kod određivanja eksponenta loma svijetla.

**73. Pomoću totalne refleksije da se odredi eksponent loma.** Ako poznamo kut totalne refleksije nekoga minerala, možemo izračunati iz toga kuta eksponent loma i obrnuto iz eksponenta loma da se izračunati granični kut totalne refleksije.

Poznat je na pr. granični kut totalne refleksije crown-stakla,  $i = 41^\circ$ ; koliki je  $n$ ?

$$i = 41^\circ; \sin i = 0,65606; \frac{1}{n} = 0,65606;$$

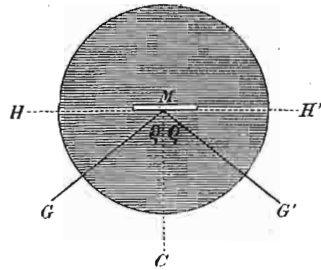
$$n = \frac{100000}{65606} = 1,52.$$

Poznat je eksponent loma na pr. kod dijamanta,  $n = 2,4175$  (za D-liniju); koliki je granični kut totalne refleksije?

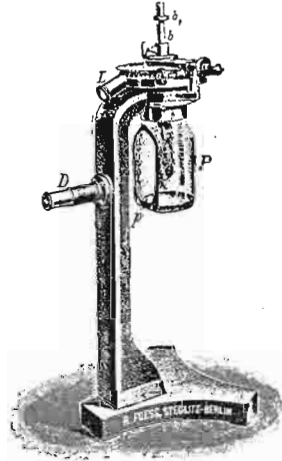
$\sin i = \frac{1}{n} = \frac{1}{2,4175} = 0,41365$ ; logaritam od 0,41365. jest 9,61663;  $\log \sin i = 9,61663$ ;  $i = 24^\circ 26' 2''$  (granični kut totalne refleksije za dijamant).

Granični kut totalne refleksije naći ćemo pomoću nekih sprava t. zv. *totalnih refraktometara*. Metode, s kojima radimo na refraktometrima, različite su. Po jednoj metodi treba od minerala prirediti malu pločicu i s jedne je strane brušenjem izravnati i ugladiti. Na tu glatku plohu pada svjetlo, koje će se u izvjesnom položaju pločice totalno reflektirati, ako dolazi na pločicu iz gušćega tijela. Zato ćemo pločicu staviti u tekućinu, koja ima veći eksponent loma od pločice. Takve su tekućine na pr.  $\alpha$ -monobromnaftalin sa  $n = 1,658$ , jodmetilen sa  $n = 1,740$ , sumpor otopljen u jodmetilenu sa  $n = 1,83$ . Tekućina se nalazi u okruglastoj ili cilindričnoj staklenoj posudici, pa se u sredinu posudice zaroni pločica minerala tako, da bude

vertikalna. Kroz staklene stijene dopire svjetlo i pada na glatku plohu minerala M (sl. 647.). Između kuta GMH i G'MH' vidi se totalna refleksija; prema tome je kut CMG ili kut CMG' granični kut totalne refleksije  $\rho$ . Ako poznamo eksponent loma N tekućine, izračunat ćemo eksponent loma minerala, koji se nalazio u tekućini po formuli:  $n = N \cdot \sin \rho$ .



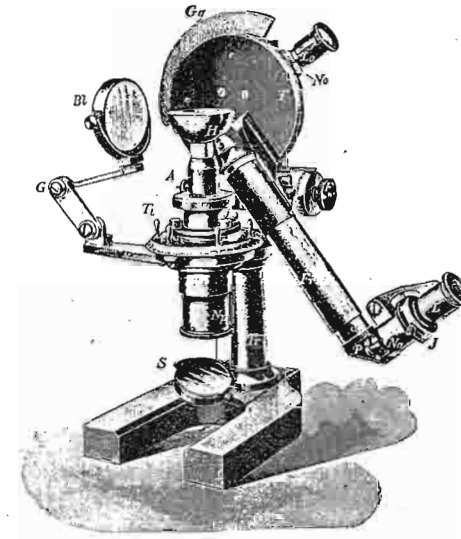
Sl. 647.



Sl. 648.

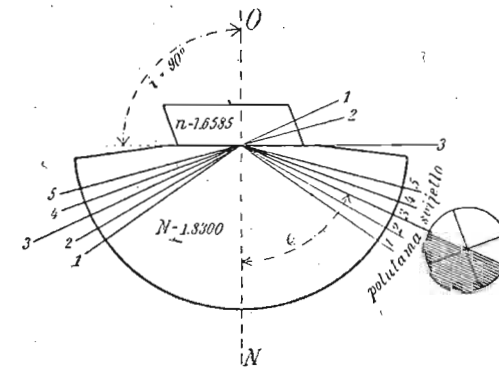
Na pomenutom principu konstruirao je *Kohlrausch* totalni refraktometar tako, da je uzeo cilindričnu staklenu posudicu P (sl. 648.), napunio je tekućinom poznatoga loma, i s prednje strane zatvorio planparalelnom staklenom pločicom p, pred kojom je postavljen u smjeru okomitom na pločicu durbin D. Na limbusu L pričvršćen je držak, koji zalazi u posudicu. Na držak se pričvrsti pločica minerala u vertikalnom smjeru tako, da stoji u tekućini sa ravnom plohom pred durbinom. Svjetlo dopire kroz staklene stijene i na glatku plohu. Okretanjem drška na limbusu okreće se i pločica u tekućini tako, da na nju pada svjetlo pod raznim kutovima. U izvjesnom položaju past će zrake svjetla i pod takim kutom, pod kojim će se totalno reflektirati. U durbinu vidi se jasno granica totalne refleksije kao oštra granica između osvijetljenoga dijela vidnoga polja i osjenjenoga. Kad je ta granica tačno u sredini vidnoga polja, pročita se položaj pločice na limbusu i sada se okreće pločica na protivnu stranu, dok se opet ne vidi u sredini vidnoga polja granica totalne refleksije, pa se opet na limbusu pročita položaj pločice. Na taj način dobili smo dvostruku veličinu graničnoga kuta totalne refleksije  $2\rho$ . Po formuli:  $n = N \cdot \sin \rho$  nadjemo eksponent loma istraživanoga minerala.

Metodu *Kohlrauschovu* preinačio je *Wollaston* u toliko, što je mjesto tekućina, kojima se uz promjenu temperature vrlo lako mijenja jakost loma, uzeo staklo velikoga loma svjetla, budući da staklo prema promjeni



Sl. 649.

temperature nije tako osjetljivo kao tekućine. Po toj *Wollastonovoj* metodi priredili su *Abbe* i *Czapski* refraktometar (sl. 649.), koji je osnovan na ovom principu:

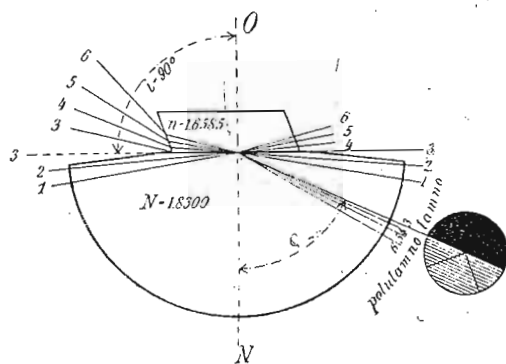


Sl. 650.

Na vrhu stalka, koji se može zajedno sa limbusom okretati, postavljena je polukugla od stakla, komu je eksponent loma 1,83 — 1,92. Mineral, koji se istražuje, izbrusi se kao pločica i s jedne strane izglati. Sa

glatkom stranom dolazi na polukuglu. Da se posvema prilijepi uz staklo tako, da ne bude između pločice i stakla uzduha, metne se na staklo kapljica neke tekućine, koja je velikoga loma svijetla, na pr. metilenjodid. Svijetlo dolazeći kroz staklo i kroz tekućinu pada na ravnu i glatku pločicu minerala. Ako je tekućina većega loma od minerala, doći će dakako do totalne refleksije. Neka bude ON (sl. 650.) okomica na granicu između gušćega (tekućine) i rjeđjega tijela (u našem slučaju kalcita), a zraka 3 neka označuje granični kut totalne refleksije. Zrake, koje padaju na polukuglu s lijeve strane odozdo, doći će na granicu i to jedne pod većim kutom (zrake 4 i 5) a jedne pod manjim kutom (zrake 1 i 2) negoli je granični kut totalne refleksije (zraka 3); one, što padaju pod većim kutom (4 i 5), totalno će se reflektirati, one pod manjim kutom (1 i 2) djelomično će se reflektirati, a djelomično lomiti. U smjeru zrake 3 (s desne strane) postavljen je durbin tako, da prima zrake kao da dolaze iz neizmjerne udaljenosti, pa će se u njegovom vidnom polju, pokazati desna strana posvema svjetla, a lijeva polutamna. Između jedne i druge strane vidjet će se sredinom vidnoga polja oštra granica, koja odgovara granici totalne refleksije.

Ako svijetlo ne pada odozdo nego sa strane (sl. 651.), bit će granica u vidnom polju durbina između svjetlijega i tamnijega dijela još oštrija. Zrake 1,2, što padaju s lijeve strane, dolaze na granicu pod većim kutom



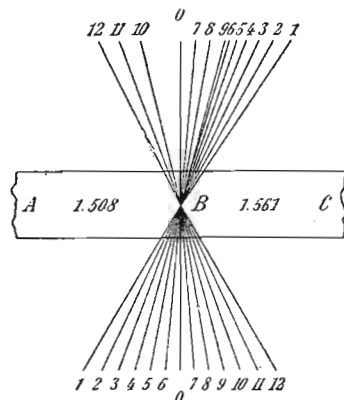
Sl. 651.

negoli je granični kut i one će se totalno reflektirati. Zraka 3 dolazi na granicu pod graničnim kutom, pa će se širiti po granici. Zrake 4, 5, 6, jer dolaze na granicu pod manjim kutom negoli je granični kut, djelomično će se lomiti, a djelomično reflektirati. Na taj način možemo naći granični kut totalne refleksije nekoga minerala; ako znamo eksponent loma staklene polukugle N, onda ćemo izračunati eksponent loma minerala, koji istražujemo po formuli:  $n = N \cdot \sin \rho$ .

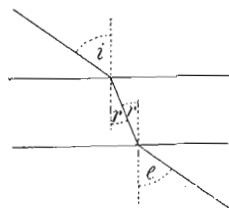
Za određivanje eksponenta loma Kohlrauschovom ili Wollastonovom metodom treba imati oveće komade minerala, koje u formi glatke pločice stavljamo u tekućinu ili na staklenu polukuglu. Ali totalnu refleksiju možemo upotrebiti za određivanje eksponenta loma i onda, ako imamo mikroskopski sitan prah nekoga minerala. Na tako sitnim mineralnim česticama odredit ćemo eksponent loma metodom uronjavanja, koja u glavnom potiče od Schröder van der Kolk-a. Metoda uronjavanja osnovana je na principu, da se mineralna čestica zaroni u tekućinu, kojoj poznamo eksponent loma. Čestice, koje smo obično dobili mrvljenjem, imaju po gdje gdje na rubu pojedine dijelove, koji su odlomljeni tako, da imaju manje više ravne konture. Na takve ravne rubove, kad dodje svijetlo, ono će se raspršiti (dispersija) ili će se totalno reflektirati. Radi toga će zrno zaronjeno u tekućinu biti obrubljeno tamnim ili bojadisanim rubovima. Ako je razlika u eksponentu loma između minerala i tekućine velika, bit će dispersija ili-totalna refleksija jača, pa će i bojadisani i tamni rubovi biti jači. Ako su eksponenti jednoga i drugoga tijela ojednaki, bojadisani i tamni rubovi bit će vrlo slabi, a u slučaju, da mineral ima isti eksponent loma kao i tekućina, bojadisani i tamni rubovi posvema iščeznu; ako je zrno bezbojno kao i tekućina, uopće se i ne razabiraju. Kad smo na taj način saznali, da je mineral istoga loma kao i tekućina, odredimo tekućini eksponent loma pomoću refraktometra.

Na pojavi totalne refleksije osnovana je Becke-ova metoda određivanja eksponenta loma kod minerala, koji se nalaze u izbrusku neke stijene. Stijene su pretežito sastavljene od različitih minerala, koji su međusobno najrazličitije ispremiješani. Ako posmatramo minerale u izbrusku pomoću mikroskopa, zapaziti ćemo na mjestu, gdje se sastaju dva minerala, koji su različitoga eksponenta loma, nježnu svjetlu liniju, koja se dizanjem tubusa pomiče prema mineralu jačega loma, a spuštanjem tubusa prema mineralu slabijega loma. Tu svjetlu liniju zovemo po njezinu obretniku Beckeovom linijom. Ona postaje na granici dvaju sredstava djelovanjem totalne refleksije. Neka se na pr. u izbrusku dva minerala različitoga loma dodiruju u vertikalnoj ravnini kod tačke B (sl. 652.). Zrake 1—12 konvergentnoga polarizovanoga svijetla padaju na izbrusak ABC i uništavaju se u minerale, koji se dodiruju, lome se. Kako su oba minerala različitoga loma (u našoj slici ima jedan  $n = 1,508$ , drugi  $n = 1,561$ ), doći će lako i do totalne refleksije onih zraka, koje iz minerala većega loma zalaze pod graničnim kutom totalne refleksije u mineral manjega loma. Od konvergentnih zraka 1—12 lomit će se gore na desno zrake 1—6; zrake 7—9 totalno će se reflektirati, ako se samo granični kut totalne refleksije nalazi kod zrake 9; zrake 10—12 lomit će se gore lijevo. Osvjetljenje, koje je simetrijski ušlo u izbrusak, nakon izlaska iz izbruska postalo je nesimetrijsko na granici dvaju minerala različitoga loma; došlo je do koncen-

tracije svijetla na rubu minerala jačega loma, gdje izlazi najviše svijetla; ta se koncentracija zapaža kao svjetla linija, Beckeova linija. Ako poznamo eksponent loma jednoga minerala, možemo saznati eksponent loma drugoga minerala, koji je u kontaktu sa mineralom poznatoga eksponenta. Osobito je važna Beckeova linija za određivanje relativne vrijednosti loma, pa će



Sl. 652.

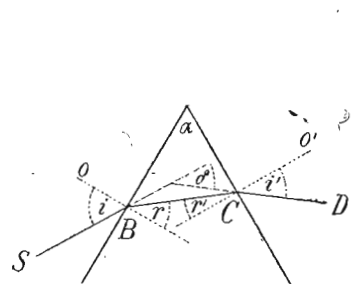


Sl. 653.

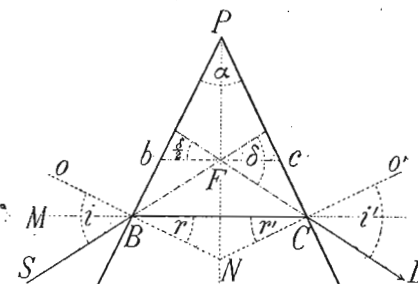
ona na vrlo jednostavan način otkriti, koji je mineral većega, a koji manjega eksponenta loma. Isto ćemo tako pomoću Beckeove linije moći odrediti kod optički anizotropnih minerala, u kom je smjeru maksimalan, a u kom minimalan lom. Ako pri dizanju tubusa Beckeova linija putuje u mineral, onda je on većega loma od sredstva, u kom se nalazi (na pr. od kanadskoga balzama,  $n = 1,539$ ); ako pri dizanju tubusa putuje linija od minerala, onda je on manjega loma od sredstva, u kom se nalazi.

**74. Svijetlo, koje je ušlo u neki mineral s izvjesnim smjerom, može da s tim istim smjerom izadje iz minerala, ili se pri izlazu iz minerala ukloni od toga smjera; devijacija svijetla.** Ako uzmemo izotropan proziran mineral, pa od njega priredimo planparalelnu pločicu, to će se zraka svijetla, koja je pala na njegovu ravnu površinu zašavši u pločicu (sl. 653.) lomiti k okomici tako, da će biti  $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v}{v'}$ . Izašavši iz pločice, lomiti će se od okomice tako, da će biti  $\frac{\sin r}{\sin e} = \frac{v'}{v}$ ; prema tome je  $\sin e = \sin i$ ;  $e = i$ . Zraka svijetla dakle, koja je ušla u planparalelnu pločicu u nekom smjeru, izlazi iz pločice u istom smjeru, u kom je ušla u pločicu. U istom smjeru izaći će zraka svijetla iz izotropnoga tijela, ako je u to tijelo ušla u smjeru okomitom, ili tačnije: u tom slučaju zraka se ne će uopće lomiti, jer je kut sraza  $i = 0^\circ$ , pa je i kut loma  $r = 0^\circ$ .

Ako mineral nije brušen kao planparalelna pločica nego u prizmatskoj formi, dakle ako ploha, na koju dolazi svijetlo nije paralelna sa plohom, iz koje izlazi svijetlo, zraka svijetla imat će pri izlazu drugi smjer, negoli pri ulazu u mineral; ona će se od svoga smjera pri izlazu iz minerala ukloniti. Iz slike 654., koja prikazuje prerez prizme priredjen od nekoga minerala, vidimo, na koji će se način zraka ukloniti od svoga smjera, kad izadje iz minerala. Kod B ulazi zraka u mineral i lomi se k okomici  $o$  u smjeru BC; kod C izlazi iz minerala lomeći se od okomice  $o'$ . Kut  $\delta$  kaže, za koliko se zraka pri izlazu iz minerala uklonila od smjera, s kojim je ušla u mineral. Taj kut zovemo *kutom devijacije* i možemo ga izračunati, ako poznamo lomni kut prizme  $\alpha$ , kut sraza  $i$  i eksponent loma mineralove prizme  $n$ ; obrnuto: ako poznamo lomni kut prizme  $\alpha$  i kut devijacije  $\delta$ , možemo izračunati eksponent loma  $n$ . To je rješenje osobito onda jednostavno, ako zraka svijetla pri ulazu i pri izlazu iz minerala čini jednaki kut sa plohami prizme, t. j. ako je  $i = i'$ ,  $r = r'$ ; u tom slučaju kut  $\delta$  ima najmanju vrijednost, devijacija je minimalna. Taj slučaj devijacije prikazan je na slici 655., iz koje možemo izvesti formulu za minimum devijacije: SBCD je smjer zrake u prizmi i izvan nje. Kako je  $\sphericalangle PBC = \sphericalangle PCB$ , to je smjer zrake BC u prizmi okomit na raspolovnicu NP lom-



Sl. 654.

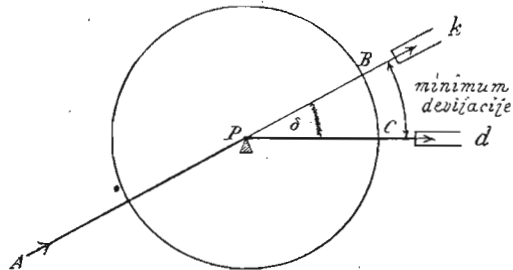


Sl. 655.

noga kuta  $\alpha$ ; prema tome je  $\sphericalangle CBN = r = \frac{\alpha}{2}$ . Neka je BF i CF produženje smjerova, što ih zraka ima izvan prizme, i neka je bc paralelna BC, onda je  $\sphericalangle Cfc = \sphericalangle Bfb = \frac{\delta}{2}$ , gdje  $\delta$  označuje kut devijacije t. j. suplement kuta SFD. Ako produžimo CB do M, to je kut sraza  $i = \sphericalangle SBo = \sphericalangle SBM + \sphericalangle MBo$ ;  $\sphericalangle MBo = \sphericalangle CBN = \frac{\alpha}{2}$ ,  $\sphericalangle MBS = \sphericalangle Cfc = \sphericalangle Bfb = \frac{\delta}{2}$ ; dakle je  $i = \frac{\alpha}{2} + \frac{\delta}{2} = \frac{\alpha + \delta}{2}$ ; prema tome je eksponent loma:

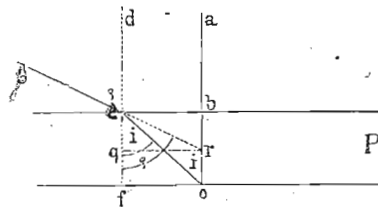
$$n = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\sin \frac{\alpha + \delta}{2}}{\sin \frac{\alpha}{2}}$$

Po ovoj jednadžbi možemo odrediti eksponent loma svakom prozirnom mineralu, ako od njega priredimo prizmu, pa na refleksnom goniometru odredimo veličinu lomnoga kuta prizme  $\alpha$  i minimum devijacije  $\delta$ . Lomni kut odredit ćemo običnim načinom, da prizmu sa njezinim lomnim bridom centriramo i justiramo (18). Slično ćemo naći i minimum devijacije: prizmu sa lomnim bridom postavimo u centar limbusa (sl. 656.). Kroz nepomični kolimator ulazi svjetlo u smjeru AB i lomi se u prizmi. Sa durbinom  $d$ , kroz koji dolazi slomljeno svjetlo u oko, tražimo smjer zrake AB; kad smo ga zapazili (kao osvjjetljenje), pročitamo na limbusu položaj prizme i onda je okrećemo oko lomnoga brida, dok slomljena zraka PC ne počne da se vraća. Veličina okretaja od B do C, t. j. od položaja prizme, kad se vidi osvjjetljenje, do povratka slomljene zrake, jest veličina minimalne devijacije, veličina kuta  $\delta$ .



Sl. 656.

Eksponent loma možemo odrediti i metodom, koja potiče još iz XVIII. vijeka (1767.) od francuskoga mineraloga, vojvode od Chaulnes-a. U tu svrhu valja imati proziran mineral u formi planparalelne pločice, koja se posmatra pod mikroskopom. Radi se tako, da se odabere neka tačka, nad koju se objektiv tako namjesti, da se tačka vrlo jasno vidi. Povrh tačke metne se sada planparalelna pločica prozirna minerala i u tom času tačka



Sl. 657.

se više ne vidi jasno. Treba dakle pomaknuti objektiv za neku udaljenost  $e$ , da se tačka opet posve jasno vidi. Za koju ćemo udaljenost  $e$  pomaknuti objektiv, zavisi o debljini  $D$  pločice i o njenom eksponentu loma. Neka

bude u slici 657. tačka  $o$ , na koju smo tačno namjestiti objektiv; tačka se u tom slučaju vidi vrlo jasno i oštro. Ako stavimo povrh tačke  $o$  pločicu  $P$ , to će zraka  $oba$  proći kroz pločicu, promijenivši u njoj svoju brzinu i doći će u objektiv u istom smjeru, u kom je ušla u pločicu. Zraka  $oc$  izašavši kod  $c$  iz pločice, lomit će od okomice  $df$  u smjeru  $cg$ , pa će se činiti kao da dolazi od  $r$ . U  $r$ , gdje se prividno sijeku obje zrake, pričinja se kao da leži tačka  $o$ , kao da je udaljena od svog mjesta za veličinu  $ro$ . Ako uzmemo, da je veličina  $ro = e$ , a debljina pločice  $ob = D$  i ako je  $df$  okomica sraza u  $c$  a  $rq$  okomito na  $df$ , onda je:

$$\operatorname{tg} i = \frac{cb}{D}, \text{ a } \operatorname{tg} \rho = \frac{qr}{qc} = \frac{cb}{D - e}; \text{ odatle je:}$$

$$\frac{\operatorname{tg} \rho}{\operatorname{tg} i} = \frac{D}{D - e}.$$

Ako je kut  $i$  i  $\rho$  dosta malen, može se tangenta zamijeniti sinusom, pa imamo:

$$\frac{\operatorname{tg} \rho}{\operatorname{tg} i} = \frac{\sin \rho}{\sin i} = n = \frac{D}{D - e}.$$

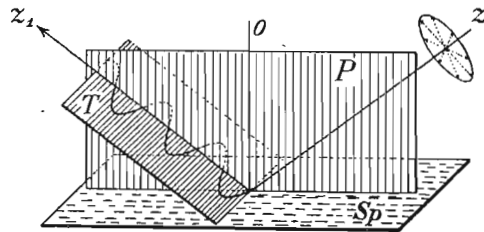
Ako dakle poznamo debljinu  $D$  pločice i udaljenost  $e$  objektiva, možemo naći eksponent loma. Debljinu  $D$  pločice možemo lako odrediti pomoću mikroskopa, a isto tako i udaljenost  $e$  pomoću mikrometrijskoga vijka na mikroskopu.

**75. Kad se svjetlo reflektira i lomi, ono se i polarizuje.** Čuli smo, da svjetlo dolazeći iz uzduha do minerala u nj djelomice ulazi, a djelomice se od njega odrazi. Ako imamo amorfan ili koji teseralni mineral, jedan će dio svjetla u nj ući i lomit će se k okomici, a drugi dio odrazit će se od minerala. Odražena zraka svjetla pričinjat će se golom oku kao zraka običnoga svjetla. Ali istražujemo li tu zraku turmalinskom pločicom, koja je brušena smjerom glavne kristalografske osi, t. j. koja propušta svjetlo samo u ravnini paralelnoj sa glavnom kristalografskom osi, vidjet ćemo, da je odražena zraka polarizovana, da titra samo u jednoj ravnini. Možemo se o tom uvjeriti, ako posmatramo kroz turmalinsku pločicu svjetlo, što dolazi neposredno od nekoga izvora, na pr. od lampe, i ono svjetlo, što se odrazuje na pr. od ravne staklene ploče. Ako kroz pločicu turmalina posmatramo svjetlo, što dolazi od lampe, vidjet ćemo, da će jakost svjetla ostati uvijek jednaka, pa okretali turmalinsku pločicu oko njezine okomice kolikogod na desno ili na lijevo. Svjetlo, što dolazi od lampe titra u svim ravninama; ono je obično svjetlo. Ali posmatrajmo svjetlo, što se odrazuje od staklene ploče, koja leži horizontalno. Kad smo turmalinsku pločicu postavili tako, da je sa svojom glavnom kristalografskom osi u horizontalnom položaju, staklena ploča, od koje se odrazuje svjetlo, vidjet će se kroz pločicu osvjjetljena i sjajna. Okrenemo li turmalinsku pločicu za  $90^\circ$ , t. j. u položaj, gdje će sa svojom glavnom kristalografskom osi biti vertikalna, ne ćemo više vidjeti staklenu ploču u sjajnosti; ona je potamnila. Reflektirano svjetlo titra dakle samo u jednoj ravnini; ono je polarizovano. Kad



je turmalinska pločica sa svojom glavnom kristalografskom osi u kosom položaju, staklena se ploča vidi slabo osvijetljena; osvijetljenje biva jače, kad se pločica približava sa svojom glavnom kristalografskom osi horizontalnom položaju, a slabije, kad se približava vertikalnom položaju (87).

U našem pokusu podudara se ravnina polarizacije (sl. 658. P) sa ravninom sraza. Kad je glavna kristalografska os turmalina okomita na ravninu polarizacije, propušta pločica polarizovanu zraku; kad je glavna kristalografska os turmalina paralelna sa ravninom polarizacije, pločica ne propušta polarizovane zrake (87); polarizovana zraka titra dakle u ravnini koja je okomita na ravninu sraza.



Sl. 658. — Zraka  $z$  običnoga svijetla pada pod nekim kutom na staklenu ploču  $Sp$ , sa koje se odražuje i polarizuje titrajući u ravnini  $T$ , koja je okomita na polarizacionoj ravnini  $P$ , u kojoj se odražena polarizaciona zraka  $z_1$  širi.

Dakako svijetlo pada na staklenu pločicu (ili na koju drugu optički izotropnu tvar) pod raznim kutovima. O kutu sraza  $i$  zavisit će stepen polarizacije odraženoga svijetla. Pod nekim će kutom sraza svijetlo biti više, pod nekim manje polarizovano. Onaj kut sraza  $i$ , pod kojim se svijetlo potpuno polarizuje, t. j. uz koji vidno polje potamni, zove se *kut polarizacije*. Do maksimalne polarizacije pri refleksiji doći će, kada reflektirana zraka sa slomljenom čini kut (ugao) od  $90^\circ$  (sl. 659.), t. j. kada bude

$r = 90^\circ - i$ ; dakle je  $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\sin i}{\sin(90^\circ - i)} = n$ , a odatle je  $\text{tg } i = n$ . Kad dakle znamo kut maksimalne polarizacije, možemo iz njega naći eksponent loma i obrnuto: iz eksponenta loma možemo naći kut maksimalne polarizacije.

Kod fluorita je  $[n = 1,4338$  (za D-liniju); koliki je kut maksimalne polarizacije  $i$ ?  $\text{tg } i = 1,4338$ ;  $\log \text{tg } i = 0,15649$ ;  $i = 55^\circ 6'$ .

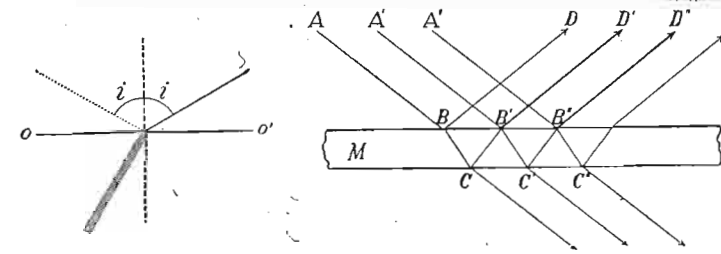
Zanimljivo je, da je reflektirano svijetlo, koje dolazi sa ploha metalne sjajnosti, tek neznatno polarizovano.

Kako se pri refleksiji svijetlo više ili manje polarizuje, tako se ono i pri lomu polarizuje. Ako se staklena glatka pločica nalazi u takvom položaju, da je reflektirano svijetlo većim dijelom polarizovano, onda je i slomljena zraka polarizovana, samo joj je polarizaciona ravnina u drugom položaju negoli u reflektiranoj zraci (sl. 659.), t. j. kad je glavna os tur-

malina paralelna sa ravninom sraza, vidi se osvijetljenje, a kad je glavna os turmalina okomita na tu ravninu, dolazi do potamnjenja. Ako je staklena pločica u horizontalnom položaju, titra reflektirana polarizovana zraka horizontalno, dakle okomito na ravninu sraza, a polarizovana slomljena zraka paralelno sa ravninom sraza.

Polarizacija je zrake sa jedne staklene ploče nepotpuna; ako uzmemo više staklenih pločica, koje su poslagane jedna povrh druge, bit će svijetlo, što izadje kroz čitavu naslagu staklenih pločica, potpuno polarizovano. Na taj način možemo dobiti od običnoga svijetla polarizovano.<sup>1)</sup>

**76. Minerali pokazuju kadšto boje, koje postaju interferencijom svijetla.** Ima bezbojnih minerala, na pr. bistrih kristala kalcita ili kremena prozirca (gorski kristal), koji se u nekim svojim dijelovima prelijevaju u bojama duge; jednako tako vidimo na kalotinama kalcita, glinenca, fluorita, pa na tanušnim listićima tinjca (liskuna), kako se pojavljuju tu i tamo dugine boje; te boje često zapažamo i na glatkoj površini limonitove caklovice, na glatkim plohama hematitovih i sideritovih kristala, i t. d. Za takve minerale, koji se prelijevaju u bojama duge, velimo, da *iriziraju*<sup>2)</sup>.



Sl. 659.

Sl. 660.

Irizacija ili prelijevanje boja osnovano je na interferenciji svijetla, koja može postati pri refleksiji i lomu svijetla. Znamo, da svijetlo, kad dospije do minerala, jednim dijelom udje u nj, a drugim se dijelom reflektira. Ali do refleksije svijetla dolazi i u samom mineralu, te se tako obje odražene zrake, i ona sa površine i ona iz minerala, sastaju sa nekim zakašnjenjem i spajaju se u jednu zraku, t. j. interferiraju (68). Neka na pr. na tanušnu pločicu minerala M (sl. 660.) omeđenu paralelnim plohama, padne svežnjić paralelnih zraka AA'A". Posmatrajmo zraku AB. Zraka AB dospjela je kod B na površinu minerala; jednim dijelom svojim odrazila se od mine-

<sup>1)</sup> P. Groth: Physikalische Krystallographie. Vierte Auflage, pag. 8—36. — L. Duparc et F. Pearce: Traité de technique minéralogique et pétrographique. Première partie. Leipzig 1907. — H. Rosenbusch und E. A. Wülfing: Mikroskopische Physiographie der Mineralien und Gesteine. Fünfte Auflage, pag. 533. G. Tschermak und F. Becke: Lehrbuch der Mineralogie. Achte Auflage, pag. 200—202.

<sup>2)</sup> Od lat. iris, duga.

rala u smjeru BD, a drugim dijelom ušla je u mineral kod B, lomila se k okomici i dospjevši kod C na granicu između minerala i uzduha, izašla je jednim dijelom iz minerala lomeći se od okomice, a drugim dijelom odrazila se u mineralu u pravcu CB', gdje kod B' izlazi iz gušćega sredstva u rjedje, pa se lomi od okomice nastavljajući svoj put u smjeru B'D'. Zraka A' dospjela je kod B' na mineral, odrazila se u B' u smjeru B'D', t. j. u istom smjeru, u kom i zraka A nakon izlaza iz minerala u B', te je zaostala za zrakom A za komad puta BCB'. U B' sastaju se obje zrake (jedna uvijek sa zakašnjenjem) i djelujući jedna na drugu spajaju se u zajedničko gibanje B'D', t. j. interferiraju (68). Dodju li u B' dva valovita gibanja istoga titrajnoga vremena, sjedinit će se u jedno zajedničko gibanje B'D', koje će se pojačati, ako jedna zraka za drugom zaostaje za cijeli val ili za paran višekratnik polovice vala, t. j. u tom se slučaju jakost svijetla uvećala.

Može se dogoditi, da se u B' sastanu dva valovita gibanja sa protivnim fazama, t. j. da jedna zraka za drugom zaostaje za polovicu vala ili za neparan višekratnik polovice vala. U tom slučaju djelovat će jedno gibanje na drugo tako, da će nastati novo posljedično gibanje, kod kojega će se jakost svijetla umanjiti, a u nekom slučaju, kako znamo, svijetlo će se i poništiti.

Ako na tanušnu pločicu ili tanušan listić kojega minerala pada jedno-bojno svijetlo, na pr. žuto svijetlo natrija, doći će, kako smo malo čas vidjeli, do refleksije; jedne će zrake žutoga svijetla prevaljivati dulji, jedne kraći put, pogotovo, ako pločica ili listić minerala nije svugdje jednake debljine. Tako će jedna zraka zaostajati za drugom za razne valovne dužine, te će doći do interferencije, do stvaranja novoga gibanja, koje će biti ili pojačano ili oslabljeno, već prema tome, da li zrake interferiraju sa istim ili sa protivnim fazama, pa će pločica biti na jednim mjestima žuto osvjetljena, a na drugim mjestima tamna. Kad bismo mjesto jedno-bojnoga svijetla pustili da na mineral pada bijelo svijetlo, zrake pojedinih boja bijeloga svijetla različito bi zaostajale jedna za drugom; došlo bi i opet do interferencije, gdje bi zrake nekih boja bile pojačane, nekih oslabljene ili poništene. Mjesto bijeloga svijetla pokazale bi se u mineralu razne boje, koje su postale miješanjem onih boja bijeloga svijetla, što su se pri interferenciji pojačale ili oslabile; mineral bi se pokazao u bojama duge, on bi irizirao.

Do iriziranja, koje je dakle posljedica interferencije svijetla, dolazi na tanušnim listićima minerala, zatim kod bezbojnih minerala, koji su puni tankih ljuštica, što postaju na pr. pri kakanju na kalotinama kalcita, glinena, fluorita ili na sitnim krhotinicama kremenca. Na nekim kristalima neprozirnih minerala (hematit, galenit, siderit i t. d.), koji su se počeli kemijski mijenjati, postaju tanušne prevlake novoga minerala, pa i u tim

tanušnim prevlakama dolazi do interferencije, koja uzrokuje irizaciju svijetla. Takvi minerali izgledaju kao da su nahukani šarenim mrljama.

Do interferencije svijetla može doći i u mineralima, koji su puni sićušnih pukotinica i šupljina. Kad svijetlo prolazi kroz sićušne pukotine, neznatan dio njegov ugiba se od svoga pravocrtnoga širenja na jednu i drugu stranu pukotine. Ovo ugibanje zovemo *ogibom svijetla*. Oni dijelovi svijetla, koji su se ugnuli od svoga pravocrtnoga širenja na jednu i drugu stranu pukotine, mogu interferirati, jer tu zrake svijetla zaostaju jedna za drugom za izvjesne valovne dužine. Ako kroz takovu pukotinicu prolazi bijelo svijetlo, ono će se sa svake strane pukotinice pokazati u raznim bojama, koje su postale miješanjem onih boja bijeloga svijetla, koje su se pri interferenciji pojačale i oslabile. Tako isto može doći do interferencije i u nekim mineralima, koji su puni šupljina i pukotina, na pr. kod opala (78).

**77. Minerali se odlikuju izvjesnom sjajnošću.** Ima minerala, koji se sjaju, a ima i takvih, koji nemaju nikakove sjajnosti, nego su mutni, na pr. haloazit. Tamo, gdje je moguće da dodje do refleksije svijetla, tamo će se pojaviti i mineral u izvjesnoj sjajnosti, jer sjajnost zavisi o refleksiji svijetla. Minerali glatke i ravne površine jače će reflektirati svijetlo od minerala, kojima je površina manje glatka. Ali na sjajnost minerala jako utiče i jakost loma svijetla; minerali većega eksponenta loma svijetla odlikuju se jačom sjajnošću. Kako se svijetlo pri refleksiji dosta promijeni, jer se miješa sa odraženim svijetlom, što je došlo iz minerala samoga (76), to je i sjajnost zavisna o tom međusobnom djelovanju reflektiranih zraka. Zato imamo među mineralima sjajnosti razne vrste.

Neki minerali, naročito sulfidi, pa po koji oksid, odlikuju se jakom metalnom sjajnošću. Metalna sjajnost pojavljuje se kod opakih<sup>1)</sup> ili neprozirnih minerala, koji svijetlo jako absorbiraju (78), a sa glatkih površina reflektiraju. Tako je na pr. pirit FeS<sub>2</sub>, galenit PbS, hematit Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, mineral metalne sjajnosti. Prozirni minerali, koji imaju veliki lom svijetla, odlikuju se *dijamantnom sjajnošću*. Takav je mineral dijaman, stalerit, kuprit, cerusit i t. d. Ako neki mineral ima sjajnost, koja je jednaka sjajnosti prozorskoga stakla, velimo, da se odlikuje *staklastom sjajnošću*; takav je mineral na pr. kremen. Minerali vlasasti, kakav je na pr. više puta gips, imaju *svilenastu sjajnost*. Listićavi minerali, na pr. tinjci (liskuni) pokazuju *sedefastu sjajnost*. Sedefasta sjajnost većinom je posljedica refleksije i irizacije. Ima minerala i sa *masnom sjajnošću*; takav je mineral na pr. sumpor ili kremen na odlomljenim dijelovima.

Sjajnost minerala važno je svojstvo, pa ćemo po njoj katkada moći lako prepoznati mineral od minerala.

<sup>1)</sup> Od lat. *opacus*, taman, gust.

### 78. Minerali su ili prozirni ili neprozirni, bezbojni ili bojadisani.

Kad dodje svjetlo iz uzduha do nekoga minerala, ono jednim dijelom udje u mineral, a drugim se dijelom reflektira od njega. Svjetlo, što je ušlo u mineral, nikad ne izlazi iz njega potpuno; jedan je njegov dio mineral apsorbirao.<sup>1)</sup> Minerale, koji tek neznatan dio svjetla apsorbiraju, a pretežni dio propuštaju, zovemo *prozirnim mineralima*. Tako na pr. kristali kremen prozirca, kalcita, kamene soli i t. d. propuštaju gotovo sve svjetlo, koje je u njih ušlo; ti su kristali prozirni. Minerale, koji ne propuštaju svjetlo nego ga apsorbiraju, zovemo *neprozirnim* ili *opakim mineralima*; takav je na pr. mineral pirit, galenit, magnetit, hematit, antimonit i t. d. Kako nema ni jednoga minerala, koji bi svjetlo potpuno propuštao ili potpuno apsorbirao, nema tako ni minerala, koji bi bio potpuno (apsolutno) proziran ili potpuno (apsolutno) neproziran (opak).

Svjetlo dakle, koje je ušlo u mineral, izlazi iz njega uvijek oslabljeno. Ali svjetla ima raznih valovnih dužina ili raznih boja (67), a mineral ne apsorbira sve boje jednakom jakosti; neke će boje apsorbirati jače, neke slabije. Ako je bijelo svjetlo, dakle svjetlo raznih valovnih dužina, ušlo u mineral, a razlika je u jakosti apsorpcije raznih valovnih dužina (boja) vrlo slaba, izaći će svjetlo iz minerala sa neznatnom razlikom u boji tako, da to svjetlo ne ćemo moći razlikovati od onoga, što je ušlo u mineral; minerale takove apsorpcije zovemo *bezbojnima*. Jasno je, da apsolutno bezbojnih minerala ne može da bude, jer razlika u apsorpciji raznih boja, koliko god bila neznatna, ipak postoji.

Neki minerali odlikuju se takovom apsorpcijom, koja je za razne valovne dužine (boje) svjetla jako različita, pa kad u takav mineral udje bijelo svjetlo, apsorbirat će on neke boje jako, neke posvema neznatno i svjetlo, kad izadje iz minerala, ne će biti više bijelo; minerali takve apsorpcije pokazivat će u prolaznom svjetlu neku boju.

Neki minerali, kad ih posmatramo u svjetlu, koje na njih pada, redovito su *bojadisani*. Ta boja minerala potiče od reflektiranih zraka. Jer kao što mineral ne apsorbira sve boje jednakom jakosti, tako ih i ne reflektira jednakom jakosti. Zato ako mineral neke boje apsorpira, a neke reflektira, pokazivat će one boje, koje reflektira; bit će bojadisani. Tako na pr. rubin apsorpira sve boje osim crvene; crvenu boju reflektira, pa se zato pokazuje u crvenoj boji; safir reflektira u glavnom modru boju, pa je zato modar, ametist reflektira ljubičastu boju, pa je ljubičast, smaragd reflektira zelenu boju, pa je zelen i t. d.

Kod nekih minerala potiče boja od tuđih primjesina, koje su tokom razvitka mineralova ušle u nj; kad ti primjesina ne bi bilo, mineral bi bio bezbojan. Takve minerale, kojima boja potiče od stranih primjesina,

<sup>1)</sup> Od lat. *absorbere*, progutati.

zovemo *alohromatskim*<sup>1)</sup> *mineralima*. Kremen se zna katšto razviti u ljubičastoj, žutoj, ružičastoj i zelenoj boji ili je posvema crn. Sve te boje nisu bitne kremenovoj tvari; one potiču od neke strane tvari, koja je ušla u kremen i dala mu izvjesnu boju; kad te tvari ne bi bilo u kremen, bio bi on bezbojan, kako ga zaista najčešće i nalazimo. Bojadisani kremen jest dakle alohromatski mineral. Tako je alohromatski mineral rubin, safir, neke bojadisane vrste topaza, kamene soli, fluorita, berila i t. d.

Kod nekih alohromatskih minerala, može se ona tvar, onaj pigment,<sup>2)</sup> od kojega potiče boja minerala, zapaziti pomoću mikroskopa kao sitne čestice, što su razasute po čitavom mineralu. Tako se na pr. karnalit, bezbojni mineral, pokazuje kadšto u crvenoj boji. Ta crvena boja potiče od sićušnih kristalića hematita, koji su se u velikoj količini raširili po karnalitu. Ali negdje je pigment tako fino raširen po mineralu, upravo je u njem otopljen, da ga ni mikroskopom ne zamjećujemo, kako je to na pr. kod kamene soli, kremen, fluorita i t. d.

Neki alohromatski minerali odlikuju se zanimljivom osobinom: oni mogu svoju boju izgubiti i opet je primiti. Francuski kemik *Becquerel* obavljao je pokuse sa modrim fluoritom i modrom kamenom soli. Kad je modri fluorit ili modru kamenu so ugrijao, postala su oba minerala bezbojna; ali kad ih je tako bezbojne doveo u doticaj katodnih zraka, nakon duljeg vremena postali su ti minerali djelovanjem katodnih zraka opet modri kao i prije grijanja. Kremen čadjavac, kad ga ugrijemo do 360°, postane posve bezbojan. Ali ako ga ovako bezbojna stavimo u blizinu radijskoga bromida, on će djelovanjem zraka, što izlaze iz radijske soli, postati opet crn, kakav je bio i prije grijanja. Radijske soli ne samo, da povraćaju mineralu izgublenu boju, nego joj i mijenjaju dotadašnju i daju novu. Žuti fluorit izgubi uz radij potpuno svoju boju i postaje zelenkasto modar; ljubičastu kamenu so pretvorile su radijeve zrake nakon sedam dana u ružičastu; bezbojni korund prešao je djelovanjem radijskih zraka u žuti, modri korund (safir) u zeleni, žuti korund u crveni, ljubičasti u modri i t. d. Jednako djeluju i zrake svjetla i to one, koje su malih valovnih dužina, dakle one zrake, koje se nalaze iza vidljivoga dijela ljubičastoga svjetla.

Nekim je mineralima boja bitno svojstvo njihove tvari i oni ne mogu biti nikada bezbojni. Takve minerale zovemo *idrohromatskim*<sup>3)</sup> *mineralima*. Bazični bakarni karbonat  $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ , poznat pod imenom azurita, uvijek je modre, azurne boje; ta boja leži u prirodi azuritne tvari. Ali promijeni li se azurit tvorno tako, da primi nešto malo vode, a izgubi nešto malo ugljične kiseline, prijeći će u novi mineral, u drugi bazični karbonat

<sup>1)</sup> Od grč. *allos*, drugačiji i *hroma*, boja.

<sup>2)</sup> Od lat. *pigmentum*, boja.

<sup>3)</sup> Od grč. *idiós*, svoj.

$\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$ , u t. zv. malahit, koji je uvijek zelene boje, jer ta boja leži u prirodi malahitne tvari; azurit i malahit jesu dakle idiohromatski minerali i nikada ne mogu biti bezbojni. Idiohromatski minerali mogu izgubiti svoju boju, ali ako se to dogodi, onda je sa gubitkom boje izgubljen i mineral; on se stvarno promijeni, prelazi u novi mineral; nije dakle više ono, što je bio prije. Mineral realgar  $\text{As}_2\text{S}_3$ , na pr. krasne je rumene boje. Ako stoji dulje vremena na svjetlu, iščezava sve više rumena a nješto nje javlja se žuta boja; uzrok tome jest u stvarnoj promjeni, jer se na svjetlu realgar pretvara u auripigment  $\text{As}_2\text{S}_3$ .

Ima kristala nekih minerala, koji na izvjesnim plohama i u izvjesnom smjeru pokazuju prelijevanje u krasnoj modroj boji, dok je na drugim plohama i u drugom smjeru to prelijevanje vrlo slabo ili ga uopće nema. Ta je pojava poznata pod imenom *glaukiziranja*.<sup>1)</sup> Minerali, koji se odlikuju glaukiziranjem pokazuju u prolaznom svjetlu izvjesnu boju, a u odraženom svjetlu neku drugu boju, koja je komplementarna boji u prolaznom svjetlu. Adular na pr. koji je poznat pod imenom mjesečeva kamena, bijel je poput mlijeka, ali na plohi (201) pokazuje intenzivnu modru boju (glaukizira); ta je boja najintenzivnija, ako od adulara priredimo pločicu smjerom plohe (201), koja je debela oko 0,05 mm, pa je promatramo u smjeru plohe (010). Isto se tako odlikuju glaukiziranjem neki albiti, apatiti, hri-zoberili, labradoriti i t. d.

Glaukiziranje je osnovano na refleksiji svjetla, koju uzrokuju neki uklopci, što se nalaze u mineralu i čine mineral mutnim. Kako su ti uklopci samo u izvjesnom smjeru poredani u mineralu, tako se i refleksija razvija samo u izvjesnom smjeru, pa se glaukiziranje takodjer zapaža samo u onom smjeru, gdje dolazi do refleksije.

Ti uklopci mogu da reflektiraju samo one zrake, koje su malih valovnih dužina (modre), dok zrake velikih valovnih dužina (crvene i žute) propuštaju. Zato su minerali, koji su inače bez uklopaka prozirni, a od silošije uklopaka mutni, u prolaznom svjetlu žutkasti ili crvenkasti, a u reflektiranom svjetlu modri. Kod bojadisanih minerala mješaju se boje, koje nastaju refleksijom od uklopaka, sa bojama minerala.

Kadikad se glaukiziranje ili modra boja miješa sa bojama, što postaju interferencijom svjetla (76). U tom slučaju dolazi do vrlo lijepoga prelijevanja različitih boja, pa se neki mineral pri pomicanju pokazuje u raznim bojama. Takvim se prelijevanjem boja odlikuje naročito opal. Opal bi po svojoj prirodi morao biti bezbojan. Pa takvih opala doista i ima. Ali opal je često pun tuđih primjesina, koje leže u njemu kao sićušni uklopci i on je od njih mutan. Ti sitni uklopci reflektiraju modro svjetlo i opal glaukizira. Ali u opalu se nalaze i sitne pukotiniče, koje uzrokuju

<sup>1)</sup> Od grč. *glaukós*, modar.

ogib svjetla, pri čemu dolazi do interferencije, zbog koje se bijelo svjetlo raspršuje u svoje sastavne dijelove. Opal će se dakle pri pomicanju pokazati u vrlo šarenim bojama.<sup>1)</sup>

**79. Minerali smrvljeni u prah pokazuju izvjesnu boju; ogreb minerala.** Ima minerala, kako smo vidjeli, bezbojnih i bojadisanih; nekima je boja bitno svojstvo njihove tvari, a nekima potiče od stranih primjesina (78). Kad koji mineral smrvimo u sitan prah, pokazuje izvjesnu boju. Bezbojni mineral, na pr. kremen prozirac, kalcit, kamena so i t. d. smrvljeni u prah postaju bijeli. Pa ako su ti minerali kadikad i primili neku boju, njihov će prah uprkos toj boji biti bijel ili muzgavo bijel, znak, da boja nije bitna njihovoj tvari. Kad bismo tako na pr. smrvili ružičasti kremen ili modru kamenu so ili zeleni fluorit, prah njihov bio bi bijel ili muzgavo bijel. Bojadisani minerali smrvljeni u prah pokazuju uvijek izvjesnu boju. Tako je na primjer prah crvenoga realgara crveno žute boje; lijepu crvenu boju nalazimo kod praša rumenice; od modra azurita prah je modar, od zelena malahita zelen, od žuta auripigmenta žut. Minerali metalne sjajnosti, kao što su neki sulfidi i po neki oksidi, imaju prah obično crn; tako je na pr. prah pirita, galenita, magnetita crn. Kod nekih minerala, koji su metalne sjajnosti, prah je smeđ (manganit), žutkasto smeđ (limonit), crvenkasto smeđ (volframit). Hematit, koji dolazi kadikad u lijepim kristalima sive ili mrko sive boje ili u sitnim srebrnastim listićima ili u gustim tamno sivim i crnim komadima, daje redovito prah, koji je kao krv crvene boje.

Kako je boja praha za svaku mineralnu vrstu uvijek stalna, ona je zato i važno svojstvo za prepoznavanje jednoga minerala od drugoga; više ćemo puta već po toj boji prepoznati neki mineral. Ako uzmemo komadić minerala, pa ga uz jači ili slabiji pritisak prevučemo preko hrapave pločice bijela tvrda porculana, ostat će na porculanskoj pločici bojadisana pruga od mineralova praha. Tu prugu, koja je postala struganjem minerala po porculanskoj pločici, zovemo *ogrebom minerala*, pa velimo na pr. za hematit, da je crvena ogreba, malahit zelena ogreba, auripigment žuta ogreba i t. d.

**80. Neki minerali mogu u izvjesnim prilikama da svijetle.** Zrake svjetla, što ih je neki mineral apsorbirao (78), djeluju na čestice minerala u toliko, da ih stave u takovo stanje gibanja, koje uzrokuje toplinu. Ta toplina uzrokuje opet novo gibanje svjetla, koje je drugoga titrajnoga vremena, od onoga, koje je mineral apsorbirao. Kad se to dogodi, onda nakon osvjetljenja izlazi iz nutrine minerala svjetlo druge boje, nego li je apsorbirano svjetlo. Tako na pr. ima minerala, koji u tami svijetle jakim svi-

<sup>1)</sup> R. Brauns: Die Ursachen der Färbung dilut gefärbter Mineralien und der Einfluss von Radiumstrahlen auf die Färbung. Fortschritte der Mineralogie, Kristallographie und Petrographie. Bd. I. pag. 129. Jena 1911. — C. Doelter: Das Radium und die Farben. Dresden 1910. — C. Doelter: Die Farben der Mineralien insbesondere der Edelsteine. Braunschweig 1915.

jetlom; tu pojavu zovemo *luminiscencijom*.<sup>1)</sup> Na razne načine može doći do svjetlenja ili luminiscencije minerala. Tako na pr. neki fluoriti, naročito iz Alstona u Cumberlandu, koji su u prolaznom svijetlu zeleni, a u odraženom ljubičasti ili modri, kad ih donesemo u tamu, pa puštamo da na njih pada kroz zbirnu leću čunj sunčanih zraka, zasvijetle krasnim modrim svijetlom. To modro svijetlo izlazi iz fluorita tako dugo, dok zraka sunčanoga svijetla pada na fluorit; čim uklonimo sunčano svijetlo, nestaje i luminiscencije. Onu luminiscenciju, koja traje samo tako dugo, dok na mineral djeluju sunčane zrake, zovemo po fluoritu *fluorescencijom*. Pojava fluorescencije osnovana je na apsorpciji svijetla, naročito ultraljubičastoga; apsorbirano svijetlo pretvara se u mineralu u svijetlo većih valovnih dužina tako, da iz minerala izlazi svijetlo neke druge boje. Kad bismo na fluorit bacili zrake ultraljubičastoga svijetla, koje naše oko ne može zapaziti, fluorit bi ultraljubičasto svijetlo apsorbirao, a ono bi se u fluoritu pretvorilo u svijetlo većih valovnih dužina i mi bismo zapazili, kako iz fluorita izlazi krasno modro svijetlo; fluorit fluorescira. Fluorescencijom se odlikuju samo neki minerali; oni (na pr. kovine i neke rude), koji ne apsorbiraju ultraljubičastoga svijetla, ne pokazuju nikada fluorescencije.

Fluorescenciju možemo vidjeti kod uranskoga stakla, petroleja, jodovih para i t. d.

Luminiscencija se pojavljuje još kod nekih minerala, kad na njih djelujemo katodnim, radijskim i Röntgenovim zrakama; takvi su minerali na pr. sfalerit, apatit, fluorit, cerusit, anglezit, adular, dijamant i t. d.

Luminiscencija, koja se pojavljuje u mineralu djelovanjem sunčanoga svijetla, može trajati i onda, kad je sunčano svijetlo prestalo padati na mineral; takvu trajniju luminiscenciju zovemo *fosforescencijom*, po fosforu, koji u tami djelovanjem lagane oksidacije svijetli; fosforescencija je tek trajnija fluorescencija. Lijepom fosforescencijom odlikuju se dijamanti, ako smo ih prije toga držali na sunčanom svijetlu, pa onda došli s njima u tamu. To je pojava, koju je i naš narodni pjevač dobro poznao, kad veli: „Na stolici alin kamen dragi, da se vidi sestri večerati usred noći kao u sred podne“. Nešto će malo fosforescirati u tami i neki aragoniti, kalciti, vlaknati gips, stroncijanit, ali nikada silikatni minerali.

Neki minerali fosforesciraju lijepim svijetlom nakon žarenja ili za trajanja samoga žarenja. Tako na pr. *barit*, na kome je uopće prvi put (g. 1603.) zapažena luminiscencija, svijetli u tami nakon žarenja crvenim svijetlom. Naši stroncijaniti iz Radoboja, kad ih u tami nešto jače grijemo, svijetle bijelim svijetlom. Za neke minerale dovoljna je već toplina ruke, pa svijetle. Tako svijetli u toploj ruci dijamant, topaz, fluorit. Luminiscenciju, koja postaje djelovanjem topline, zovemo *termoluminiscencijom*.<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Od lat. *lūmen*, svijetlo.

<sup>2)</sup> Od grč. *thérmos*, topao.

Kod nekih minerala pojavljuje se luminiscencija djelovanjem električne iskre; to je *elektroluminiscencija*, koju možemo posmatrati kod zelenoga fluorita i kod barita, t. zv. bolonjskoga kalavca.

Raznim mehaničkim djelovanjem na neke minerale može se pojaviti luminiscencija, koju zovemo *triboluminiscencijom*.<sup>1)</sup> Tako će se pojaviti ta luminiscencija, ako neki mineral grebemo, ribamo, mrvimo, drobimo, brusimo. Naši sfaleriti iz Fruške Gore svijetle u tmuni, kad ih kakvim tvrdim predmetom grebemo. Na toj se pojavi osniva i svjetlucanje šećera, kad ga u tami mrvimo. Isto će tako doći do triboluminiscencije kod mramora, dolomita, kremenja i t. d. Kadšto se pojavljuje luminiscencija djelovanjem kemijskih procesa; amo spada pomenuto već svjetlucanje fosfora, koje potiče od njegove lagane oksidacije; takvu luminiscenciju zovemo *kemoluminiscencijom*. Pri kristalizaciji može se takodjer pojaviti t. zv. *kristaloluminiscencija*, koja se kadšto može vidjeti kod kristalizacije arsen-ske kiseline.<sup>2)</sup>

**81. Optički anizotropni minerali lome svijetlo dvostruko; oni su dvolomni.** Kad svijetlo udje u koji tetragonski, heksagonski, rompski, monoklinski ili triklinski mineral, ne će se širiti u njem na sve strane jednakom brzišom, kako je to slučaj kod amornih i teseralnih minerala, nego će u nekim smjerovima biti veće, u nekima manje brzine. Kako njegova brzina zavisi o smjeru u mineralu, širenje je svijetla u tim mineralima vektoralno svojstvo. Minerali, u kojima se svijetlo širi u raznim smjerovima raznom brzišom, zovu se *optički anizotropni minerali*, a takvi su tetragonski, heksagonski, rompski, monoklinski i triklinski minerali.

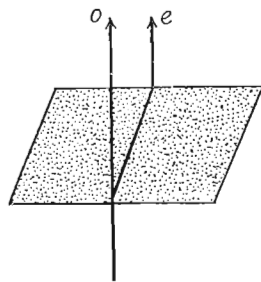
Kad u takav koji mineral udje svijetlo iz uzduha, zašlo je iz rjedjega tijela u gušće, pa će u mineralu promijeniti svoj smjer, koji je imalo u uzduhu. Cim je zraka svijetla ušla pod kosim kutom u anizotropan mineral, rastavlja se u dvije zrake, koje se šire u mineralu različitom brzišom; obje su te zrake slomljene na taj način, da su se od smjera, što ga je svijetlo imalo u uzduhu, uklonile k okomici i to jedna jače, druga slabije. Jedna od ovih zraka pokorava se zakonima, koji vrijede za jednostavan lom (71), pa je zato zovemo *redovnom* ili *ordinarnom zrakom* (o u sl. 661. i 662.) Druga slomljena zraka pokorava se nekim zasebnim zakonima, koji ne vrijede za ordinarnu zraku, pa je zato zovemo *vanrednom* ili *ekstraordinarnom zrakom* (e u sl. 661. i 662.). Minerale, koji lome svijetlo dvostruko, zovemo *dvolomnima*.

Dvolom možemo zapaziti već golim okom kod bistrih kristala kalcita; zato zovemo kalcit i dvolomcem. Na njemu su *Bartholinus* (1669.) i *Huyghens* (1678.) otkrili i proučili pojave dvoloma. Neka dakle na plohu

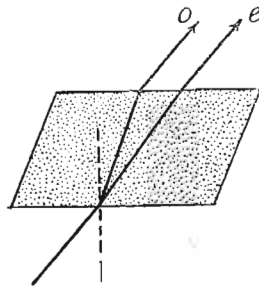
<sup>1)</sup> Od grč. *tribein*, ribati.

<sup>2)</sup> *J. Beckenkamp*: Statische und kinetische Kristalltheorien, Zweiter Teil, pag. 372. Berlin 1915.

kalcitove kalotine (sl. 661.) pada zraka običnoga svijetla okomito. Tu je kut sruza  $i = 0^\circ$  i kad bi kalcit bio izotropan, ne bi došlo u njemu uopće do dvoloma, jer bi bio kut loma  $r = 0^\circ$  (74). Ali kalcit je dvoloman mineral, pa će se zraka svijetla rastaviti u dvije: jedna će zraka bez ikakova loma proći kroz kalcit i izaći će baš u onom smjeru, u kom je u kalcit ušla; to je ordinarna zraka  $o$ , jer se ponaša kao i zraka u izotropnom tijelu. Druga će zraka, ma da je svijetlo ušlo u mineral u okomitom smjeru, proći



Sl. 661.



Sl. 662.

kroz mineral u nekom drugom smjeru; nakon izlaza iz kalcita ona će se vratiti u isti smjer, s kojim je svijetlo ušlo u kalcit; to je ekstraordinarna zraka  $e$ . Prema tome zraka svijetla rastavila se je u kalcitu u dvije zrake, koje izlaze iz njega u paralelnom smjeru udaljene jedna od druge za izvjesno odstojanje. Ako svijetlo dolazi koso na plohu kalcitove kalotine (sl. 662.), obje će se zrake lomiti k okomici, jedna jače, druga slabije; iz kalcita će izaći dvije zrake u paralelnom smjeru udaljene jedna od druge za izvjesno odstojanje. Ako kroz plohu kalcitove kalotine posmatramo kakav predmet tako na pr., da romboedrijsku kalotinu stavimo sa jednom plohom na list bijela papira, na kom smo nacrtali kružnicu ili koji drugi znak, a kroz suprotnu paralelnu plohu posmatramo znak na papiru, vidjet ćemo mjesto jednoga znaka dva; jedan znak pokazuje ordinarna zraka, drugi ekstraordinarna. Koja je od te dvije zrake ordinarna, a koja ekstraordinarna? To možemo lako odrediti na taj način, da okrećemo kalotinu kalcitovu na desno ili na lijevo oko okomice na obje romboedrijske plohe, kroz koje svijetlo ulazi i izlazi. Pri tom će okretanju jedna slika znaka na papiru ostati na istom mjestu, dok će druga slika znaka putovati onako, kako okrećemo kalcitovu kalotinu: mijenjat će neprestano svoje mjesto. Slika znaka, koja ostaje nepomična pri okretanju kalotine, jest slika, što je daje ordinarna zraka, a slika, koja se pomiče pomicanjem kalotine, jest slika, što je daje ekstraordinarna zraka.

Kad bismo pomoću turmalinske pločice, koja je brušena smjerom glavne osi (75) ili pomoću Nicolove prizme (87) ispitivali prirodu jedne i druge zrake, koje su nastale pri dvostrukom lomu, našli bismo, da su

obje linearno polarizovane. Posmatrajući kroz turmalinsku pločicu ili kroz Nicolovu prizmu, vidimo u izvjesnom položaju pločice samo jednu zraku; kad se vidi ordinarna zraka, iščezne ekstraordinarna. Ali ako okrenemo turmalinsku pločicu ili Nicolovu prizmu iz prijašnjega položaja za  $90^\circ$ , pojavit će se ekstraordinarna zraka, a iščeznut će ordinarna. To iščezavanje i pojavljivanje jedne i druge zrake biva dakle onda, kad okrenemo turmalinsku pločicu ili Nicolovu prizmu za  $90^\circ$ , što znači, da obje zrake, ordinarna i ekstraordinarna, titraju u ravninama, koje su jedna na drugoj okomite, dakle su i titraji jedne i druge zrake međusobno okomiti. Kad dodje dakle u nekom mineralu do dvoloma, obje su zrake linearno polarizovane.

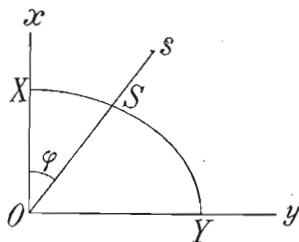
Malo ima minerala, kod kojih već golim okom možemo zapaziti dvolom; to su samo oni minerali, kod kojih je razlika u lomu između jedne i druge zrake vrlo velika, kao što je na pr. kod kalcita. Osim kalcita pokazuju se golom oku dvolomnima, veliki i bistri kristali sumpora i barita. Treba li odrediti, koji je mineral dvoloman, valja se poslužiti polariskopima ili spravama za polarizaciju i one će otkriti prirodu dvoloma nekoga minerala (87).

**82. Anizotropni minerali optički su jednoosni ili dvoosni.** Koliko god se anizotropni minerali, dakle dvolomni minerali, odlikuju tom osobinom, da lome svijetlo u dvoje, te se pri tom svijetlo polarizuje, ipak ima u tim mineralima izvjesnih smjerova, gdje se svijetlo ne lomi u dvoje, nego je zraka običnoga ili polarizovanoga svijetla, kako je ušla tim smjerom, ostala nepromijenjena i izlazi iz minerala onakova, kakova je u nj ušla, t. j. ili kao zraka običnoga ili polarizovanoga svijetla. U tim smjerovima ponaša se anizotropan mineral kao svaki izotropni mineral. Te smjerove, u kojima se svijetlo ne lomi dvostruko, zovemo *optičkim osima*. Kako se u optički izotropnim mineralima, tetraedrim i amornim, svijetlo u svim smjerovima jednako ponaša, t. j. nigdje se ne lomi u dvoje, to imaju ti minerali najmanje broj optičkih osi.

**83. Tetragonski i heksagonski minerali optički su jednoosni.** Uz mimo kalotinu kalcita, pa joj odbrusimo dva suprotna ugla (roglja), kroz koja prolazi glavna kristalografska os  $c$ ; dobit ćemo tako dvije paralelne suprotne plohe, koje su okomite na glavnu os romboedra. Neka zrake svijetla padaju na koju od te dvije plohe u smjerovima, koji su različito nagnuti spram glavne osi  $c$ . Svijetlo će se dakako u tim različito nagnutim smjerovima lomiti u kalcitu u dvoje, u ordinarnu i ekstraordinarnu zraku. Ako pokušamo odrediti eksponent loma jedne i druge zrake, naći ćemo, da je eksponent loma ordinarne zrake  $\omega$  uvijek isti, padala zraka svijetla na plohu, što je okomita na glavnu os, u kojem god smjeru; t. j. taj je eksponent (za natrijsko svijetlo) uvijek  $\omega = 1,6583$ . Slijedi dakle, da se ordinarna zraka, koja je postala pri dvostrukom lomu u kalcitu, širi na sve strane, u svim smjerovima istom brzinom. Ako pokušamo odrediti eksponent loma ekstraordinarne

zrake, naći ćemo, da je on zavisan o smjeru, u kojem se zraka širi u kalcitu; kako se mijenja smjer zrake, mijenja se i veličina eksponenta loma; on je u raznim smjerovima različan. Slijedi dakle, da se ekstraordinarna zraka, koja je nastala pri dvostrukom lomu u kalcitu, širi u raznim smjerovima raznom brzinom. Ako se ekstraordinarna zraka širi u kalcitu smjerom glavne osi romboedra, ima u tom smjeru isti eksponent loma kao i ordinarna zraka, dakle i istu brzinu; eksponent loma ekstraordinarne zrake postaje sve manji, kako smjer njezina širenja čini sve veći kut sa glavnom osi, pa kada se širi okomito na glavnu os, eksponent je loma ekstraordinarne zrake  $\epsilon$  najmanji, te je za natrijsko svjetlo  $\epsilon = 1,4864$ ; u tom je smjeru ekstraordinarna zraka najveće brzine. Pošto se obje zrake u smjeru glavne osi šire istom brzinom, to u tom smjeru ne može uopće doći do dvoloma; prema tome se u smjeru glavne osi ponaša kalcit kao jednoloman mineral; u smjeru glavne osi nalazi se dakle kod kalcita optička os; kristalna os  $c$  i optička os u kalcitu se podudaraju. Obično svjetlo, ako dodje u kalcit u smjeru glavne osi, širi se u tom smjeru kroz kalcit nepromijenjeno i izlazi iz kalcita nepromijenjeno, kao obično svjetlo.

Pošto se ordinarna zraka vlada u kalcitu kao zraka svijetla u svakom jednolomnom (izotropnom) mineralu, t. j. pošto se širi na sve strane jednakom brzinom, možemo po Huyghensovom principu konstruirati njezinu valovnu plohu kao za svaki izotropan mineral; valovna je ploha ordinarne zrake dakle kugla. Ekstraordinarna zraka, pošto se širi u raznim smjerovima raznom brzinom, ne može nikako imati valovnu plohu, kojoj bi forma bila kugla. Huyghens je g. 1678. dokazao, da se različite brzine, s kojima se ekstraordinarna zraka širi u kalcitu u raznim smjerovima, odnose medju sobom kao radiji vektora elipse, kojoj mala os odgovara brzini ekstraordinarne zrake u smjeru glavne osi, a velika os brzini ekstraordinarne zrake u smjeru okomitom na glavnu os. Možemo to posmatrati na slici 663.

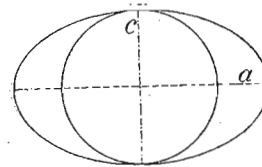


Sl. 663.

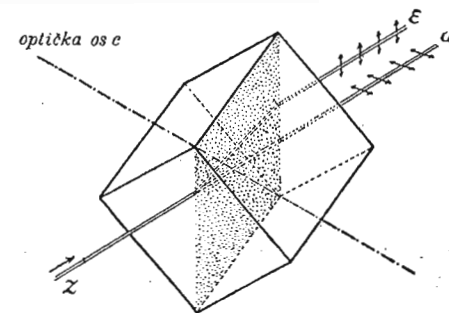
Neka je Oy smjer ekstraordinarne zrake okomit na glavnu os, Ox smjer ekstraordinarne zrake paralelan sa glavnom osi; neka je zatim  $OX:OY$  odnos brzina ekstraordinarne zrake u smjeru paralelnom sa glavnom

osi i smjeru okomitom na glavnu os, to je brzina ekstraordinarne zrake u smjeru Os, gdje zraka čini sa glavnom osi kut  $\varphi$ , jednaka OS, t. j. brzina je u tom smjeru jednaka radiju vektoru elipse, koji ima isti smjer kao i zraka Os. Dužina OS predstavlja brzinu širenja ekstraordinarne zrake u svim smjerovima, koji sa glavnom osi čine kut  $\varphi$ ; te ćemo smjerove dobiti, ako zamislimo, da smo elipsu XSY okrenuli oko Ox kao oko rotacione osi za  $360^\circ$ . Pri tom će okretaju čitava elipsa dati rotacioni elipsoid; svaki radij vektor toga elipsoida odgovara veličini brzine ekstraordinarne zrake, koja ima isti smjer kao taj radij. Ako se dakle u kalcitu širi svjetlo od koje god tačke, recimo od tačke O, širit će se ordinarna zraka u svakom smjeru istom brzinom; njezina će valovna ploha biti kugla; ekstraordinarna zraka širit će se od te tačke u svakom smjeru drugom brzinom. U izvjesno vrijeme dospjet će ona u smjeru glavne osi do tačke X, a u smjeru okomitom na glavnu os do tačke Y, u smjeru Os do tačke S i t. d.; t. j. ekstraordinarna zraka dospjet će na površinu onoga elipsoida, koji postaje okretanjem elipse XSY oko Ox. Svaki radij toga elipsoida odgovara smjeru širenja ekstraordinarne zrake; njegova dužina proporcionalna je brzini širenja zrake u smjeru radija vektora. Prema tome je valovna ploha ekstraordinarne zrake u kalcitu rotacioni elipsoid, čija je mala os paralelna sa optičkom osi ili rotacionom osi, a velika os okomita na optičku os. Pošto je u kalcitu smjerom optičke osi Ox brzina ordinarne i ekstraordinarne zrake jednaka, to valovna ploha ordinarne zrake mora imati u smjeru optičke osi Ox isti promjer OX kao i ekstraordinarna zraka. Svjetlo, koje se širi u kalcitu na sve strane, dospjeva dakle nakon izvjesnoga vremena na dvije površine; jednu površinu sačinjava rotacioni elipsoid, kao valovna ploha ekstraordinarne zrake; on omata drugu površinu, koju sačinjava kugla kao valovna ploha ordinarne zrake; ta kugla dotiče se rotacionoga elipsoida u krajnjim tačkama rotacione ili male osi (sl. 664.).

Kad bismo pomoću turmalinske pločice ili pomoću nikola istraživali, u kom smjeru titra ordinarna, a u kom ekstraordinarna zraka, našli bismo,



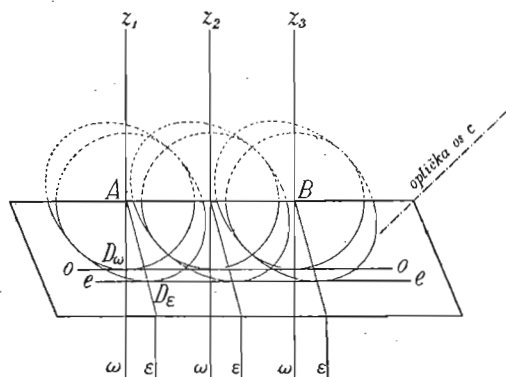
Sl. 664.



Sl. 665.

da je titrajna ravnina ili smjer titranja ordinarne zrake okomit na glavni prerez, a smjer titranja ekstraordinarne zrake, da je paralelan sa glavnim prerezom (sl. 665.). Glavnim prerezom zovemo svaku ravninu, koja prolazi kroz glavnu kristalografsku os ili kroz pravac paralelan toj osi; obje zrake, koje su postale pri lomu, šire se u glavnom prerezu.

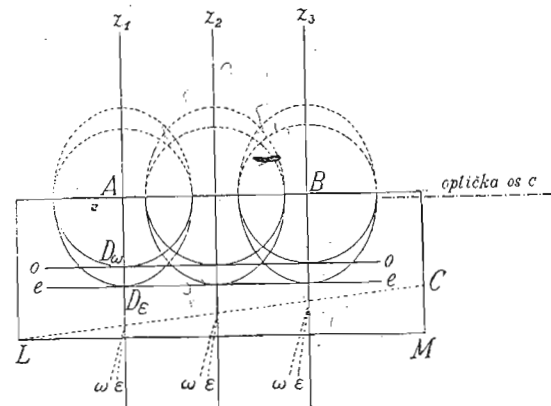
Poznavajući valovnu plohu svijetla u kalcitu možemo pomoću Huyghensove konstrukcije lako odrediti smjer ordinarne i ekstraordinarne zrake, ulazilo svijetlo u kalcit u kojem god smjeru. Neka na pr. zrake svijetla padaju na plohu AB kalcitova romboedra okomito (sl. 666.). Pravac  $c$



Sl. 666.

neka bude smjer glavne ili optičke osi toga romboedra. Pošto su zrake pale okomito na plohu romboedra, sve će u isti čas ući u kalcit i ordinarna zraka širit će se u istom smjeru, u kojem je svijetlo ušlo u kalcit (81). Nakon izvjesnoga vremena dospjet će na površinu kugle. Sve će te kugle imati zajedničku tangencijalnu ravninu  $oo$ , a okomice na tu ravninu bit će smjerovi ordinarne zrake u kalcitu. Valovna je ploha ekstraordinarne zrake, kako znamo, rotacioni elipsoid, koji omata valovnu plohu ordinarne zrake, kuglu; obje te plohe dotiču se u krajnjim tačkama rotacione ili male osi, koja je paralelna sa glavnom (optičkom) osi romboedra; dakle ćemo moći lako konstruirati i rotacioni elipsoid. Ti elipsoidi imaju zajedničku tangencijalnu ravninu  $ee$ ; pravci, koji spajaju tačku, gdje je zraka ušla u kalcit, sa tačkom, gdje tangencijalna ravnina dotiče elipsoid, određuju smjer ekstraordinarne zrake u kalcitu. Ekstraordinarna zraka, kad je svijetlo došlo na plohu romboedra okomito, uklonila se dakle od smjera, u kom je ušla u kalcit. Fronta ekstraordinarne zrake, nije okomita na smjer njezina širenja, kako je to slučaj kod ordinarne zrake, budući da tangenta elipse (ili tangencijalna ravnina elipsoida) stoji okomito na radij vektor (smjer ekstraordinarne zrake) samo na krajevima obih osi. Kad bi granična ravnina t. j. ravnina, koja dijeli jedno sredstvo od drugoga, bila okomita na glavnu

(optičku) os, pa kad bi zrake svijetla ulazile u kalcit u smjeru, koji je paralelan sa glavnom osi, imali bismo jednu frontu za obje zrake, jer je u tom smjeru ekstraordinarna zraka iste brzine kao i ordinarna; u tom slučaju uopće ne dolazi do dvoloma. Ako je granična ravnina paralelna sa optičkom (glavnom) osi (sl. 667.), a svijetlo pada okomito na tu ravninu, širit će se obje zrake, ordinarna i ekstraordinarna, u kalcitu istim smjerom jedna za drugom različitom brzinom; nakon izvjesnoga vremena dospjet će or-



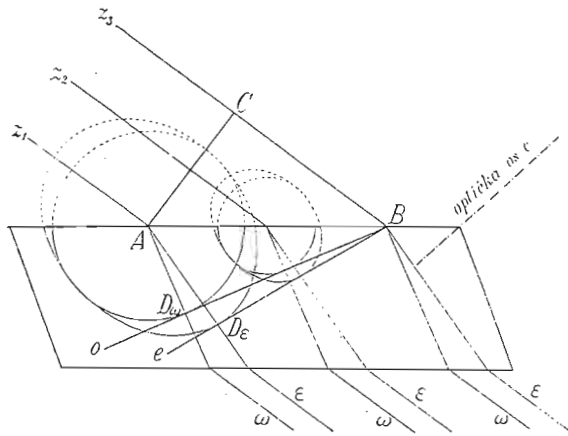
Sl. 667.

dinarna zraka na površinu kugle. Opet ćemo konstruirati rotacioni elipsoid tako, da se dotiču obje plohe u krajnjim tačkama male osi, koja je paralelna sa glavnom osi romboedra. U ovom slučaju razlika je u brzini jedne i druge zrake najveća, pa su zato i tangencijalne ravnine jedne i druge zrake  $oo$  i  $ee$  medju sobom najudaljenije. Kako se tangencijalna ravnina  $ee$  dotiče elipsoida na krajevima njegove osi, stoji radij vektor  $AD_e$  (smjer ekstraordinarne zrake) okomito na tangencijalnu ravninu  $ee$ . Dakle obje zrake, koje su nastale u kalcitu dvolomom, imaju u ovom slučaju i onda, kad izlaze iz kalcita, isti smjer, koji su imale i u kalcitu; one će pokazivati dvolom ili uklanjanje od svoga smjera onda, kad njihova granična ravnina  $LM$  pri izlazu ne bude okomita, nego kosa, na pr.  $CL$ . Padaju li zrake svijetla koso na plohu  $AB$  romboedra (sl. 668.), ne će u isto vrijeme dospjeti do kalcita. Iz konstrukcije Huyghensove razabira se, da će se obje zrake, ordinarna i ekstraordinarna, ukloniti od svoga smjera, s kojim su ušle u kalcit, pa će im fronte biti različitoga položaja.

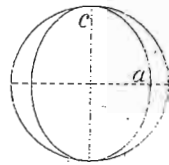
Posmatrajmo pojave svijetla u kojem drugom heksagonskom mineralu, na pr. u kremenu. Kako je kremen anizotropan mineral, i u njem će se svijetlo lomiti u dvoje, u ordinarnu i ekstraordinarnu zraku. Ordinarna



zraka širit će se, kao i u kalcitu, na sve strane jednakom brzinom; u svim smjerovima imat će isti eksponent loma  $\omega = 1,54414$  (za natrijsko svjetlo) i njezina će valovna ploha biti kugla. Ekstraordinarna zraka širit će se u raznim smjerovima različitom brzinom; u raznim smjerovima imat će različiti eksponent loma  $\epsilon$ . U smjeru glavne osi imat će istu brzinu (isti eksponent loma) kao i ordinarna zraka, pa u tom smjeru ne će uopće doći do dvoloma; to je smjer glavne osi, gdje se kremen vlada kao svaki jednolomni mineral. Kako bude smjer širenja ekstraordinarne zrake činio sa glavnom osi kremen sve veći kut, postajat će i eksponent loma te zrake sve veći, pa kad se bude ekstraordinarna zraka širila u smjeru oko-



Sl. 668.



Sl. 669.

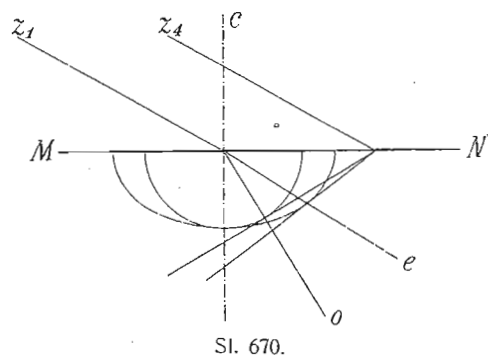
mitom na glavnu os, bit će njezin eksponent najveći,  $\epsilon = 1,55325$  (za natrijsko svjetlo). Prema tome je u kremenu brzina ekstraordinarne zrake smjerom glavne osi najveća, a u smjeru okomitom na glavnu os najmanja, dok je kod kalcita baš obrnuto: u smjeru glavne osi brzina je ekstraordinarne zrake najmanja, a u smjeru okomitom na glavnu os najveća. Zbog toga će i valovna ploha svjetla u kremenu biti drugačija; ordinarna će zraka nakon izvjesnoga vremena doći na površinu kugle, a ekstraordinarna na površinu rotacionoga elipsoida kao i u kalcitu, samo će kod kremen valovna ploha ordinarne zrake, kugla, omatati valovnu plohu ekstraordinarne zrake, rotacioni elipsoid (sl. 669.); obje će se plohe i kod kremen doticati u krajnjim tačkama rotacione (optičke, glavne) osi.

I kod kremen bismo mogli dokazati pomoću turmalinske pločice ili pomoću nikola, da smjerom glavnog prereza titra ekstraordinarna, a okomito na glavni prerez ordinarna zraka.

Ovako kao kalcit ili kao kremen vladaju se svi tetragonski i heksagonski minerali. Kod njih, kako smo vidjeli, nalazimo samo jedan smjer, u kom ne dolazi do dvostrukoga loma i zato su ti minerali optički jednoosni. Optička os pruža se uvijek paralelno sa glavnom osi, dakle pruža se u neizmerno mnogo pravaca. Ordinarna zraka, koja uvijek titra okomito na glavni prerez, ima u svim smjerovima istu brzinu, dakle i isti eksponent loma, pa joj je valovna ploha kugla. Brzina ekstraordinarne zrake, koja uvijek titra paralelno sa glavnim prerezom, mijenja se sa smjerom, te je u raznim smjerovima različita, dakle joj je i eksponent u raznim smjerovima različit. U nekom jednoosnom mineralu može biti brzina ekstraordinarne zrake smjerom glavne (optičke, rotacione) osi najveća; onda je u smjeru na to okomitom najmanja. Ali može biti brzina ekstraordinarne zrake u nekom jednoosnom mineralu smjerom glavne (optičke, rotacione) osi najmanja; onda je u smjeru na to okomitom najveća. Najveća ili najmanja brzina ekstraordinarne zrake nalazi se dakle u jednoosnom mineralu ili u smjeru glavne (optičke, rotacione) osi ili u smjeru na to okomitom. Između ta dva smjera ima neograničen broj smjerova, zato ima i neograničen broj eksponenta ekstraordinarne zrake. Uvijek se određuju samo eksponenti zrake najveće i najmanje brzine.

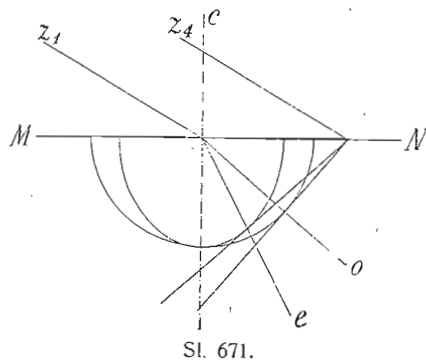
Što je razlika između eksponenta ordinarne i ekstraordinarne zrake veća, veći je i dvolom. Ta je razlika najveća onda, kad zraka svjetla pada okomito na graničnu ravninu, koja je paralelna sa glavnom osi; kako se smjer zrake u mineralu približuje sve više smjeru optičke (glavne) osi, približuje se i brzina ekstraordinarne zrake brzini ordinarne zrake, t. j. razlika u dvolomu biva sve manja, pa u času, kad zraka svjetla pada okomito na graničnu ravninu, koja je okomita na glavnu os, padne razlika u dvolomu na nul; svjetlo se u tom slučaju smjerom glavne osi ne lomi.

Eksponent ordinarne zrake bilježimo grčkim slovom  $\omega$ , a eksponent ekstraordinarne zrake grčkim slovom  $\epsilon$ . Označimo li brzinu ordinarne zrake slovom  $o$ , a brzinu ekstraordinarne zrake sa  $e$ , onda je  $o = \frac{1}{\omega}$ ,  $e = \frac{1}{\epsilon}$ ; t. j. eksponenti loma svjetla recipročne su vrijednosti brzine svjetla. Prema tome, da li je ordinarna zraka veće ili manje brzine od ekstraordinarne zrake, dijelimo optički jednoosne minerale na optički pozitivne i na optički negativne ili na minerale pozitivnoga i negativnoga dvoloma. Negativni minerali ili minerali negativna dvoloma jesu oni, kod kojih je brzina ordinarne zrake manja od brzine ekstraordinarne zrake,  $o < e$ ; dakle je eksponent ordinarne zrake veći od eksponenta ekstraordinarne zrake,  $\omega > \epsilon$ . Među minerale negativna dvoloma ubrajamo na pr. kalcit, gdje je  $\omega = 1,6583$ , a  $\epsilon = 1,4864$ . Brzina je ordinarne zrake u tom mineralu manja od brzine ekstraordinarne zrake, dakle se ordinarna zraka jače lomi od ekstraordinarne zrake (sl. 670.); zato negativne minerale zovemo i re-



pulzivnima<sup>1)</sup>. Valovna ploha ordinarne zrake (kugla) u optički negativnim (repulzivnim) jednoosnim mineralima nalazi se u valovnoj plohi ekstraordinarne zrake (rotacioni elipsoid); obje se valovne plohe dotiču u krajevima glavne (optičke, rotacione) osi. Izvanja valovna ploha sploštena je u smjeru optičke osi (sl. 664. i 670.).

Od optički pozitivnih minerala spomenut ćemo kremen, gdje je  $\omega = 1,54414$ ,  $\epsilon = 1,55325$ . U kremenu je brzina ordinarne zrake veća od brzine ekstraordinarne zrake  $\omega > e$  ili  $\omega < \epsilon$ , pa se ordinarna zraka lomi slabije od ekstraordinarne (sl. 671.); zato pozitivne minerale zovemo i atraktivnima<sup>2)</sup>. U optički pozitivnim (atraktivnim) mineralima nalazi se valovna ploha ekstraordinarne zrake (rotacioni elipsoid) u valovnoj plohi ordinarne zrake (kugla); obje valovne plohe dotiču se na krajevima glavne



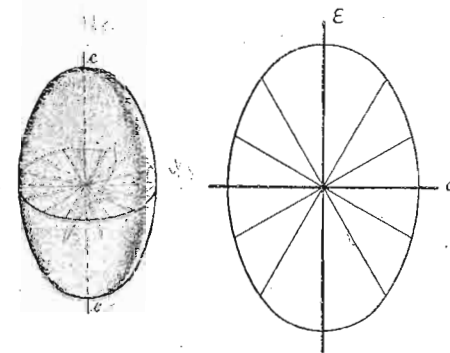
<sup>1)</sup> Od lat. *repulsus*, odbijanje, t. j. ekstraordinarna zraka jače je uklonjena od okomice nego ordinarna zraka.

<sup>2)</sup> Od lat. *atractus*, privlačim, t. j. ekstraordinarna zraka primakla se jače okomici od ordinarne zrake.

(optičke, rotacione) osi. Unutrašnja valovna ploha produžena je smjerom optičke osi (sl. 669. i 671.).

Kazali smo, da je dvojom to veći, što je razlika između eksponenta ordinarne i ekstraordinarne zrake veća. Kalcit je na pr. velikoga dvoloma:  $\omega - \epsilon = 0,1791$ , rutil još većega:  $\omega = 2,6158$ ,  $\epsilon = 2,9029$ ;  $\epsilon - \omega = 0,2871$  (za natrijsko svijetlo). Kremen je dosta maloga dvoloma:  $\epsilon - \omega = 0,0091$ , apatit na pr. još manjega:  $\omega = 1,6335$ ,  $\epsilon = 1,6316$ ;  $\omega - \epsilon = 0,0019$ . Neki se minerali odlikuju i velikim lomom i velikim dvolomom, na pr. rutil; neki su velikoga loma, a mala dvoloma, na pr. apatit; neki su i malena loma i malena dvoloma, na pr. kremen. Dvolom je vrlo važno svojstvo, pa ćemo često puta po jakosti i vrsti dvoloma prepoznati mineral od minerala. Osobito mnogo pomaže poznavanje dvoloma kod mikroskopskoga optičkoga istraživanja minerala, koji sastavljaju stijene.

Indikatriks ili optička ploha indeksa, pomoću koje se može predočiti kako se svijetlo u nekom mineralu širi (71), jest u optički jednoosnim mineralima rotacioni elipsoid, komu se rotaciona os podudara sa glavnom osi minerala (sl. 672.). Okomit prerez, na rotacionu os sredinom rotacionoga elipsoida ima uvijek formu kruga. Polumjeri (sl. 672.), toga kruga, kojih ima



Sl. 672.

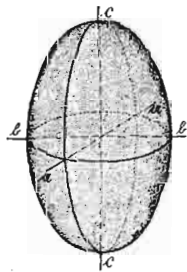
Sl. 673.

neizmjereno mnogo, predočuju pravce, koji su proporcionalni brzini zrake; dakle je brzina zrake u prerezu okomitom na glavnu (optičku, rotacionu) os u svim smjerovima jednaka. Svi ostali prerezi sredinom rotacionog elipsoida imaju formu elipse (sl. 673.), čiji su radiji vektori proporcionalni brzini zrake, koja se širi u smjeru radija vektora. Najveći i najmanji promjer elipse, odgovara najvećoj i najmanjoj brzini. U prerezu, koji je paralelan sa glavnom (rotacionom) osi, razlika je između najvećega i najmanjega promjera najveća; u tim je prerezima i razlika u brzini ordinarne i ekstraordinarne zrake najveća (sl. 673.). Što se više približuje prerez elipsoida položaju okomitom

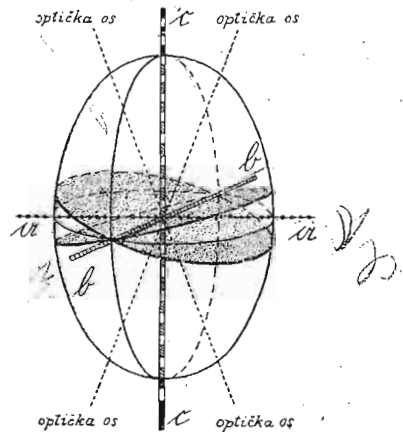
na glavnu (optičku, rotacionu) os, biva razlika u brzini ordinarne i ekstraordinarne zrake sve manja, dok napokon u prerezu okomitom na optičku os padne razlika na nul; t. j. prerez je krug i brzina je u svim smjerovima jednaka; u tom prerezu nema više dvoloma.

Kad određujemo eksponente loma optički jednoosnih minerala, služimo se ili metodom totalne refleksije (73) ili metodom minimalne devijacije (74). Ako radimo na refraktometru, možemo uzeti pločicu jednoosnoga minerala brušenu u kojem god smjeru. U vidnom polju durbina vide se dakako dvije granice, koje potiču od totalne refleksije ordinarne i ekstraordinarne zrake. Koja je od tih dviju zraka ordinarna, a koja ekstraordinarna, možemo odrediti pomoću Nicolove prizme. Za određivanje eksponenta pomoću minimalne devijacije moramo brusiti mineral tako, da je lomni brid prizme paralelan sa glavnom osi minerala, ili da je lomni brid prizme okomit na glavnu os minerala, ali u tom slučaju moraju plohe prizme zatvarati sa glavnom osi jednake kutove.

**84. Rompski, monoklinski i triklinski minerali optički su dvoosni.** Poput optički jednoosnih minerala, tetragonskih i heksagonskih, lome svjetlo dvostruko i rompski, monoklinski i triklinski minerali; oni su dvo-lomni. Ali se razlikuju od tetragonskih i heksagonskih minerala po tom, što u njima nalazimo dva smjera, gdje se svjetlo ne lomi dvostruko; kako ti smjerovi odgovaraju optičkim osima, imaju rompski, monoklinski i triklinski minerali *dvije optičke osi*, pa ih zovemo zato *optički dvoosnim mineralima*.



Sl. 674.



Sl. 675.

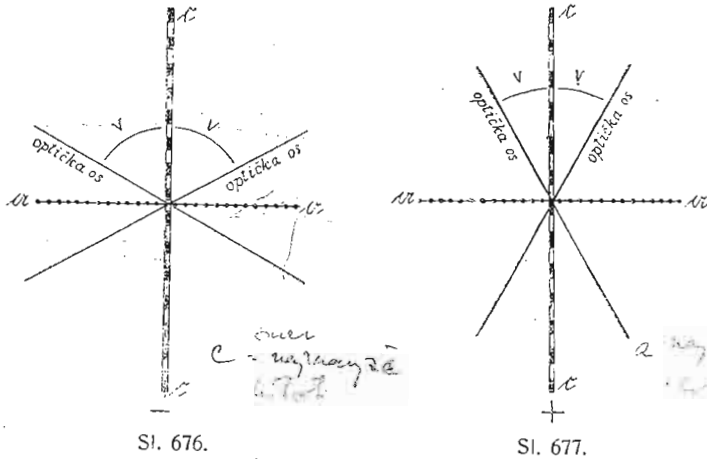
Kada svjetlo udje u optički dvoosan mineral, lomi se ono u dvije zrake, koje se šire u raznim smjerovima raznom brzinom. U jednom smjeru

bit će zrake najveće brzine, u jednom najmanje brzine, a u trećem, koji je okomit na ta dva smjera, srednje brzine. Ova tri smjera, u kojima se svjetlo širi najvećom, srednjom i najmanjom brzinom, zovemo glavnim smjerovima i oni su među sobom okomiti. O njima zavisi i forma valovne plohe svjetla u optički dvoosnim mineralima; ta valovna ploha svjetla s obzirom na tri glavna smjera brzine može biti samo *elipsoid* sa tri nejednake osi, sa najduljom c, srednjom b i najkraćom a osi; dakle je valovna ploha svjetla u rompskim, monoklinskim i triklinskim mineralima *troosni elipsoid* (sl. 674.). Dakako da je broj smjerova, u kojima se svjetlo širi u optički dvoosnim mineralima raznom brzinom neograničen, pa je tako neograničen i broj eksponenata loma. Ali se određuju eksponenti loma samo za zrake najveće, srednje i najmanje brzine; eksponent loma zrake, koja se širi najvećom brzinom, bilježimo grčkim slovom  $\alpha$ , eksponent zrake, koja se širi srednjom brzinom, grčkim slovom  $\beta$ , a eksponent zrake, koja se širi najmanjom brzinom, grčkim slovom  $\gamma$ . Ako označimo najveću brzinu sa gotskim slovom a, srednju sa gotskim b, najmanju sa gotskim c, to je  $a = \frac{1}{\alpha}$ ,  $b = \frac{1}{\beta}$ ,  $c = \frac{1}{\gamma}$ , t. j. brzine su recipročne vrijednosti eksponenata; što je brzina veća, eksponent je manji.

Indikatriks ili optička ploha indeksa u rompskim, monoklinskim i triklinskim mineralima jest *troosni elipsoid* (sl. 674.), koji se da konstruirati, kako smo kazali, iz ona tri okomita smjera najveće, srednje i najmanje brzine. Pomoću njega možemo predočiti, kako se svjetlo širi u optički dvoosnim mineralima. Prerezi sredinom troosnoga elipsoida bit će elipse, čiji će radiji vektori moći predočiti gibanje svjetla u smjerovima paralelnim tim radijima. Jasno je, da će se sredinom elipsoida između najveće i najmanje osi nalaziti sa svake strane među sobom simetrijski položen po jedan prerez, koji će biti krug (sl. 675.). Ta će dva kružna prereza predstavljati širenje svjetla na sve strane jednakom brzinom. Zraka svjetla, koja pada okomito na koji od ta dva kružna prereza, ne će se lomiti, nego će neslomljena izaći iz minerala. Okomiti smjerovi na kružne prereze odgovaraju optičkim osima. Kako su moguća u troosnom elipsoidu samo dva kružna prereza, to su u rompskim, monoklinskim i triklinskim mineralima moguće samo *dvije optičke osi*, dva smjera, gdje se svjetlo ne lomi dvostruko, gdje se ono širi na sve strane jednakom brzinom; u svim drugim smjerovima lomi se svjetlo dvostruko.

Optičke osi ili ona dva smjera, u kojima se svjetlo ne lomi, položene su među sobom tako, da tvore neki kut (ugao); taj kut zovemo *kutom optičkih osi* i on je s jedne strane manji od  $90^\circ$ , a s druge strane veći od  $90^\circ$  (sl. 676. i 677.). Pravac, koji zamišljamo, da raspolavlja oštri kut, zove se *prva* ili *oštra raspolovnica* ili *oštra bisektrijs*; pravac, koji zamišljamo, da raspolavlja tupi kut, zove se *druga* ili *tupa raspolovnica* ili *tupa bisek-*

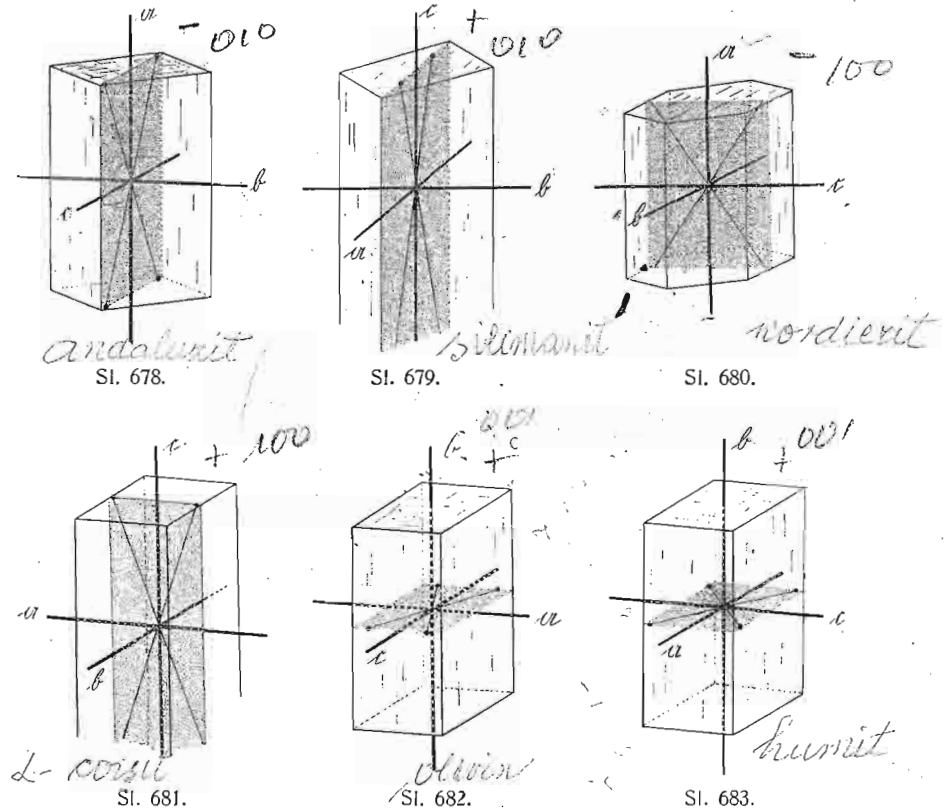
*triks.* Obje dakle raspolovnice leže u ravnini optičkih osi, te su jedna na drugoj okomite. Pravac, koji zamišljamo, da stoji okomito na obje raspolovnice ili na ravnini optičkih osi, zovemo *optičkom normalom*. Obje raspolovnice i optička normala podudaraju se sa smjerom najveće  $a$ , srednje  $b$



i najmanje  $c$  brzine ili sa eksponentima loma  $\alpha, \beta, \gamma$ . Optička normala podudara se uvijek sa smjerom srednje brzine  $b$ , dok su raspolovnice uvijek u ravnini optičkih osi, te se kod nekih minerala podudara prva raspolovnica ili sa smjerom najveće  $a$  ili sa smjerom najmanje brzine  $c$ . Ako se prva ili oštra raspolovnica podudara sa smjerom najveće brzine  $a$ , onda je mineral *optički negativan*, t. j. oštra je raspolovnica  $a$  (sl. 676.). Ako se prva ili oštra raspolovnica podudara sa smjerom najmanje brzine  $c$ , mineral je *optički pozitivan*, t. j. oštra je raspolovnica  $c$  (sl. 677.).

Tri glavna smjera brzine svijetla, najveći  $a$ , srednji  $b$  i najmanji  $c$ , ili obje raspolovnice  $a$  i  $c$  i optička normala  $b$ , koje stoje među sobom okomito, podudaraju se u mineralima rompskoga sustava za sve valovne dužine (boje) sa kristalnim osima, koje su također jedna na drugoj okomite i različite dužine, t. j. jedna je najdulja, jedna srednja, jedna najkraća. Ali ne mora se pri tom smjer najveće brzine  $a$  podudarati sa najdužom kristalnom osi, ili smjer srednje brzine  $b$  sa srednjom kristalnom osi, ili smjer najmanje brzine  $c$  sa najmanjom kristalnom osi; ne mora se ni smjer najveće brzine  $a$  podudarati sa brahiosi  $a$ , ni smjer srednje brzine  $b$  sa makroosi  $b$ , ni smjer najmanje brzine  $c$  sa glavnom osi  $c$ . Uvijek je jedna od kristalnih osi smjer najveće, druga smjer najmanje, treća smjer srednje brzine. Prema tome su uvijek dvije kristalne osi raspolovnice, pa je i ravnina optičkih osi paralelna sa jednom od kristalnih osnih ravnina. Tako

se na pr. kod andaluzita (sl. 678.) podudara smjer najveće brzine  $a$  sa osi  $c$ , smjer najmanje brzine  $c$  sa osi  $a$ , smjer srednje brzine  $b$  sa osi  $b$ ; tu je ravnina optičkih osi paralelna sa brahipinakoidom (010) a prva raspolovnica podudara se sa smjerom najveće brzine  $a$ ; andaluzit je dakle optički negativan mineral. Kod silimanita (sl. 679.) podudara se smjer najveće brzine  $a$  sa osi  $a$ , smjer najmanje brzine  $c$  sa osi  $c$ , smjer srednje brzine  $b$  sa osi  $b$ ; tu je dakle opet ravnina optičkih osi paralelna sa brahipinakoidom (010); prva raspolovnica podudara se sa smjerom najmanje brzine, pa je prema tome silimanit optički pozitivan mineral. Kod kordijerita (sl. 680.) podudara se smjer najveće brzine  $a$  sa osi  $c$ , najmanje brzine  $c$  sa osi  $b$ , srednje brzine  $b$  sa osi  $a$ ; tu je dakle ravnina optičkih osi paralelna sa makropinakoidom (100), a prva raspolovnica podudara se sa smjerom najveće brzine  $a$ ; kordijerit



je dakle optički negativan mineral. Kod  $\alpha$ -coisita (sl. 681.) podudara se smjer najveće brzine  $a$  sa osi  $b$ , smjer najmanje brzine  $c$  sa osi  $c$ , smjer

srednje brzine  $b$  sa osi  $a$ ; tu je dakle ravnina optičkih osi također paralelna sa makropinakoidom (100); kako se prva raspolovnica podudara sa smjerom najmanje brzine  $c$ ,  $\alpha$ -coisit je optički pozitivan mineral. Kod olivina (sl. 682.) podudara se smjer najveće brzine  $a$  sa osi  $b$ , smjer najmanje brzine  $c$  sa osi  $a$ , srednje brzine  $b$  sa osi  $c$ ; tu je dakle ravnina optičkih osi paralelna sa osnovnim pinakoidom (001), prva raspolovnica podudara se sa smjerom najmanje brzine  $c$  (kod olivina željezom siromašnih), pa je takav olivin optički pozitivan. Kod humita (sl. 683.) podudara se smjer najveće brzine  $a$  sa osi  $a$ , smjer najmanje brzine  $c$  sa osi  $b$ , smjer srednje brzine  $b$  sa osi  $c$ ; tu je dakle opet ravnina optičkih osi paralelna sa osnovnim pinakoidom (001); prva raspolovnica podudara se sa smjerom najmanje brzine  $c$  pa je humit optički pozitivan. U rompskom sustavu mogu se dakle glavni smjerovi brzina  $a$ ,  $b$ ,  $c$  podudarati sa kristalnim osima na ove načine; ako je:

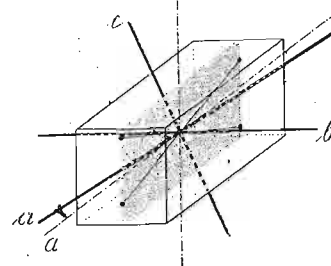
optička ravnina paralelna sa (010), tada je  $\begin{cases} \text{ili } c = a, a = c \\ \text{ili } c = c, a = a \end{cases} b = b$ ;

optička ravnina paralelna sa (100), tada je  $\begin{cases} \text{ili } c = a, b = c \\ \text{ili } c = c, b = a \end{cases} a = b$ ;

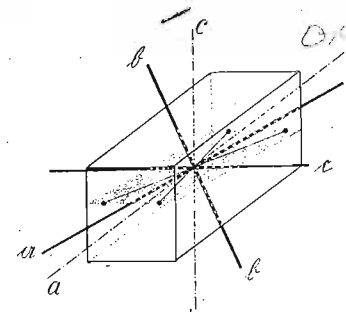
optička ravnina paralelna sa (001), tada je  $\begin{cases} \text{ili } a = c, b = a \\ \text{ili } a = a, b = c \end{cases} c = b$ .

U monoklinskom sustavu, gdje imamo dvije osi među sobom nagnute (os  $a$  i os  $c$ ), a treću (ortoosi  $b$ ) na njima okomitu, podudara se jedan od tri glavna smjera brzine  $abc$  samo sa ortoosi  $b$ ; druga dva smjera brzine leže u ravnini simetrije, ali se ne podudaraju ni sa osi  $a$  ni sa osi  $c$ , koje su također u ravnini simetrije, što je pošto jasno, jer su tri glavna smjera brzine među sobom okomiti, a dvije su kristalne osi među sobom nagnute. Smjerovi brzina, koji leže u ravnini simetrije, mijenjaju svoj položaj sa valovnom dužinom svjetla, t. j. svaka boja ima u ravnini simetrije svoj zaseban glavni smjer; na taj način dolazi u ravnini simetrije do disperzije smjerova. Smjer brzine, koji se podudara sa ortoosi  $b$  za sve je valovne dužine isti, pa u smjeru ortoosi  $b$  ne dolazi do disperzije smjera glavne brzine.

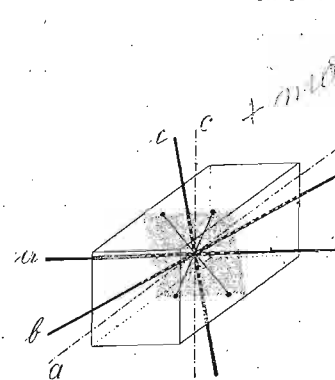
Ravnina optičkih osi u monoklinskim mineralima ili je paralelna sa ravninom simetrije ili je na tu ravninu okomita. Kod sanidina na pr. leži ravnina optičkih osi u ravnini simetrije (sl. 684.); dakle se smjer srednje brzine  $b$ , ili optička normala, podudara sa ortoosi  $b$ ; smjer najveće brzine  $a$  čini sa osi  $a$  kut od  $5^\circ$ , a smjer najmanje brzine  $c$  sa osi  $c$  kut od  $21^\circ$ ; kako se prva raspolovnica podudara se smjerom najveće brzine  $a$ , sanidin je optički negativan mineral. Kod ortoklasa je ravnina optičkih osi okomita na ravninu simetrije (sl. 685.); optička normala ili smjer srednje brzine  $b$  čini sa osi  $c$  kut od  $21^\circ$ ; sa ortoosi  $b$  podudara se smjer najmanje brzine  $c$ , a smjer najveće brzine  $a$  čini sa osi  $a$  kut od  $5^\circ$ ; prva raspolovnica podudara se sa najvećom brzinom  $a$ , pa je i ortoklas negativan mineral. Kod monacita (sl. 686.) je ravnina optičkih osi okomita na ravninu simetrije;



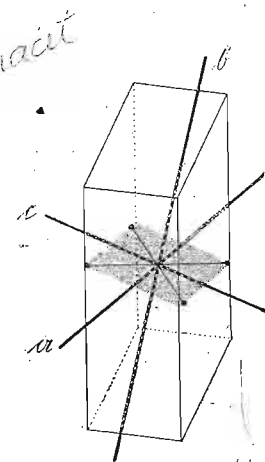
Sl. 684.



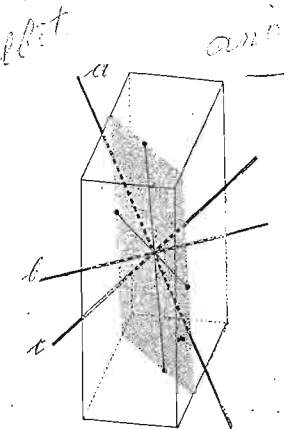
Sl. 685.



Sl. 686.



Sl. 687.



Sl. 688.

tu se sa ortoosi  $b$  podudara smjer najveće brzine  $a$ , dok ostala dva glavna smjera, najmanji  $c$  i srednji  $b$ , leže u ravnini simetrije tako, da smjer najmanje brzine  $c$  čini sa osi  $c$  kut od  $2^\circ-6^\circ30'$ ; oštra se raspolovnica podudara sa smjerom najmanje brzine  $c$ , pa je monacit optički pozitivan.

Kod monoklinskih minerala dakle leži ravnina optičkih osi ili u ravnini simetrije; u tom je slučaju oštra i tupa raspolovnica također u ravnini simetrije, a optička se normala podudara sa ortoosi  $b$  (sl. 684.); ili je ravnina optičkih osi okomita na ravnini simetrije, a tada je oštra raspolovnica okomita na ortoosi  $b$ , dok se tupa raspolovnica podudara sa ortoosi (sl. 685.); ali oštra raspolovnica može biti paralelna sa ortoosi  $b$ , a tupa raspolovnica i optička normala leže u ravnini simetrije. Ortoos je dakle ili optička normala ili tupa ili oštra raspolovnica; drugi koji položaj u monoklinskom sustavu ne može da zauzme ni optička normala ni obje raspolovnice.

U triklinskom sustavu, gdje su sve tri kristalne osi nejednake dužine i među sobom različito nagnute, ne podudara se ni jedan od tri glavna smjera brzine, dakle optička normala i obje raspolovnice, sa budi kojom kristalnom osi. Zbog toga imaju sva tri glavna smjera brzine za svaku boju različit položaj. Slika 687., 688. pokazuje položaj ravnine optičkih osi, optičke normale i obih raspolovnica kod albita (sl. 687.) i anortita (sl. 688.), gdje se razabira, da je albit pozitivan, a anortit negativan.

**85. Odredjivanje eksponenata loma kod optički dvoosnih minerala.** Iz troosnoga elipsoida, koji je indikatriks optički dvoosnih minerala, razabira se, da je u tim mineralima neograničen broj eksponenata loma. Odredjuju se dakako samo eksponenti loma zrake najveće, srednje i najmanje brzine; eksponent loma zrake najveće brzine je  $\alpha$ , srednje  $\beta$ , najmanje  $\gamma$ .

Kao kod izotropnih minerala i minerala optički jednoosnih, tako i kod minerala optički dvoosnih možemo odrediti eksponente loma  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  ili metodom totalne refleksije ili metodom minimalne devijacije. Ako odredjujemo eksponente metodom totalne refleksije na refraktometru, moramo imati dvoosni mineral brušen u formi pločice, koja je paralelna sa jednim od tri glavna smjera brzine. U pločici ćemo naći taj smjer pomoću mikroskopa, gdje promatramo pločicu u paralelnom polarizovanom svijetlu među unakrštenim nikolima, pa pomoću gipsove pločice crvene boje I. reda (90) ili tinjčeve pločice od  $\frac{1}{4}$  undulacije (90) možemo odrediti, u kojem smjeru titra zraka najveće, najmanje ili srednje brzine. Pločica se postavi u Kohlrauschov refraktometar tako, da se onaj njezin glavni smjer brzine, s kojim je pločica paralelna, podudara sa ravninom sraza (70). Ako tako položenu pločicu okrenemo do kuta, koji odgovara kutu totalne refleksije, širit će se svijetlo paralelno sa glavnim smjerom brzine, s kojim je pločica paralelna i rastavit će se u dvije zrake, koje titraju paralelno sa druga dva glavna smjera brzine. U vidnom polju durbin vidjet ćemo dvije granice, koje odgovaraju kutu totalne refleksije zraka tih dvaju glavnih smjerova. Okrenemo li sada pločicu u njejoj ravnini za  $90^\circ$  i u tom je položaju pričvrstimo tako, da okretajna os refraktometra bude paralelna sa glavnim smjerom brzine u pločici, širit će se svijetlo okomito na glavni smjer brzine, t. j. jedna će od slomljenih zraka titrati paralelno glavnom smjeru brzine; durbin namješten na ovu zraku pokazat će u vidnom polju granicu, koja odgovara kutu totalne refleksije trećega glavnoga smjera, t. j. trećemu eksponentu. Pomoću Nicolove prizme treba uvijek odrediti titrajnu ravninu jedne, druge i treće zrake.

Ako odredjujemo eksponente loma metodom minimalne devijacije, potrebno je brusiti prozirni mineral u formi prizme, kojoj odredimo lomni kut i minimalnu devijaciju  $\delta$  za svaku od tri zrake, koje se šire najvećom, najmanjom i srednjom brzinom. Da odredimo najmanji eksponent loma  $\alpha$ , dakle eksponent loma zrake, koja se širi najvećom brzinom, mo-

ramo brusiti mineral tako, da je lomni brid prizme paralelan sa smjerom najveće brzine; za odredjivanje najvećega eksponenta  $\gamma$ , dakle eksponenta loma zrake, koja se širi najmanjom brzinom, valja brusiti mineral tako, da je lomni brid prizme paralelan sa smjerom najmanje brzine; za srednji eksponent loma  $\beta$ , dakle za eksponent loma zrake, koja se širi srednjom brzinom, valja brusiti mineral tako, da je lomni brid prizme paralelan sa smjerom srednje brzine. Na svakoj od ove tri prizme odredit ćemo lomni kut  $\alpha$  i minimalnu devijaciju  $\delta$ , a iz tih ćemo podataka izračunati onda eksponente  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ .

Eksponenti loma  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  mogu se odrediti i pomoću dvije prizme. U tom se slučaju brusi proziran mineral tako, da je opet lomni brid prizme paralelan sa jednim od tri glavna smjera brzine, ali uz to još i tako, da jedan od ta tri glavna smjera raspolavlja lomni kut prizme. Mogu te dvije prizme biti i tako brušene, da jedna od prizmatških ploha bude paralelna sa kojim od tri glavna smjera brzine.<sup>1)</sup>

Što je razlika između najvećega eksponenta  $\gamma$  i najmanjega eksponenta  $\alpha$  veća, to je i dvolom veći. Neki se dvoosni minerali odlikuju velikim lomom i velikim dvolomom, na pr. brukit, gdje je  $\alpha = 2,5832$ ,  $\beta = 2,5856$ ,  $\gamma = 2,7414$  (za natrijsko svijetlo); dvolom  $\gamma - \alpha = 0,1582$ ; neki imaju veliki lom, a mali dvolom, na pr. disten, gdje je  $\alpha = 1,717$ ,  $\beta = 1,7222$ ,  $\gamma = 1,7290$  (za natrijsko svijetlo); dvolom  $\gamma - \alpha = 0,0119$ ; neki imaju mali lom i mali dvolom, na pr. ortoklas, gdje je  $\alpha = 1,5189$ ,  $\beta = 1,5224$ ,  $\gamma = 1,5253$ , (za natrijsko svijetlo); dvolom  $\gamma - \alpha = 0,0052$ .

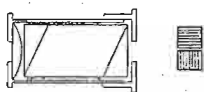
**86. Dvolomni ili optički anizotropni minerali apsorbiraju svijetlo u raznim smjerovima raznom jakosti.** Apsorpcija svijetla (78) u mineralu stoji do njegove unutrašnje gradje. Minerali jednolomni ili optički izotropni, amorfni i teseralni, u kojima se svijetlo širi na sve strane jednakom brzinom, imaju u svim smjerovima i jednaku jakost apsorpcije svijetla; titraji izvjesne boje bivaju dakle u svim smjerovima jednakom jakosti apsorbirani. Ako se jednolomni minerali pojavljuju u bojama, t. j. ako je kod njih razlika u apsorpciji za razne boje vrlo velika, bit će ti minerali u prolaznom svijetlu u svim smjerovima jednake boje, prolazi li samo svijetlo kroz jednaku debljinu minerala. Možemo se o tom uvjeriti, ako od kojeg bojadisanoga jednolomnog (izotropnog) minerala priredimo tanku pločicu, pa je posmatramo prema svijetlu kroz t. zv. dihroskopsku (Haidingerovu) lupu ili dihroskop.<sup>2)</sup> Dihroskopska lupa sastavljena je od dugoljaste kalotine kalcita, koja je umetnuta u metalnu cijev (sl. 689.). Cijev ima na svakom kraju po jedan otvor; otvor, kroz koji posmatramo svijetlo ili mineral, jest okrugao, a drugi na suprotnoj strani ima formu

<sup>1)</sup> P. Groth: Physikalische Physiographie. Vierte Auflage, pag. 101.

<sup>2)</sup> Od grč. *dis*, dvostruk, *hrós*, boja i *skópein*, motriti.

$$n = \frac{c}{v} = \frac{c}{\frac{c}{n}} = n$$

kvadrata, koji se dade okretati. Svijetlo prolazi kroz kalcitovu kalotinu i tu se lomi u dvije zrake, u ordinarnu i ekstraordinarnu, koje titraju jedna na drugoj okomito; zbog dvoloma vidimo kvadratičan otvor dvolukno.



Sl. 689.

Kad okrećemo kalcitovu kalotinu u dihoskopu, slika kvadrata, što je daje ordinarna zraka, ostaje nepomična, a slika kvadrata, što je daje ekstraordinarna zraka, putuje oko slike ordinarne zrake. Pločica izotropnoga minerala, koju posmatramo kroz dihoskopsku lupu, vidjet će se kao dva mala kvadratića, koja su u svakom položaju uvijek jednake boje, pa okretali kvadratičan otvor na koju god stranu. U izotropnim je dakle mineralima apsorpcija svijetla u svim smjerovima ista, apsorpciona ploha za izvjesnu boju jest kugla.

Drugačije je to kod dvolomnih ili anizotropnih minerala. Kako njihova unutrašnja gradnja upravlja širenjem svijetla, te se ono širi u raznim smjerovima raznom brzinom, tako će i jakost apsorpcije svijetla biti u raznim smjerovima različita; za jednu te istu boju bit će u jednom smjeru jača, a u drugom slabija. Kad bismo od turmalinova kristala, koji je tamne boje, priredili tanušnu pločicu tako, da je ona brušena paralelno sa glavnom kristalnom osi, pa je posmatrali kroz dihoskopsku lupu, pokazala bi se pločica kao dva kvadratića izvjesne boje, ali samo onda, ako su kvadratići u dijagonalnom položaju; ako su kvadratići jedan iznad drugoga ili jedan do drugoga, vidi se turmalinška pločica kao jedan kvadratić u izvjesnoj boji; drugi je kvadratić posve potamnio, te se i ne vidi. U turmalinškoj pločici raspada se svijetlo, kako je poznato, u dvije zrake, u ordinarnu i ekstraordinarnu, koje titraju jedna na drugoj okomito i to tako, da ordinarna zraka titra u smjeru okomitom na glavnu os, a ekstraordinarna u smjeru paralelnom sa glavnom osi (83). Kako je turmalin jake apsorpcije, to on gotovo potpunoma apsorpira ordinarnu zraku, dakle titraje, koji su okomiti na glavnu os, dok ekstraordinarnu zraku gotovo posvema propušta, t. j. apsorpcija je za titraje, koji su paralelni sa glavnom osi slaba. U dihoskopskoj lupi, kad su kvadrati jedan iznad drugoga, gornji kvadrat pripada ordinarnoj zraci; tu su dakle titraji horizontalni, a donji ekstraordinarnoj zraci, gdje su titraji vertikalni. Svaki put, kad budu titraji turmalinove ordinarne zrake paralelni sa titrajima ekstraordinarne zrake dihoskopske lupe, kvadrat iščežne, jer turmalin uopće ne propušta ordinarne zrake; on je potpuno apsorpira, pa vidimo samo ekstraordinarnu zraku. Jednaku ćemo pojavu dakako zapaziti, kad su kvadrati dihoskopske lupe jedan do drugoga, jer jedan pripada ordinarnoj, drugi ekstraordinarnoj zraci. Gdje apsorpcija nije potpuna, nego je za neke boje jača, za neke slabija, vidjet će se kroz dihoskopsku lupu optički jednoosni mineral u raznim smjerovima razno bojadisan; velimo: mineral pokazuje pleohroizam, on je pleohroitski. Kod jednoosnih minerala apsorpcija je svijetla izvjesne boje ili najjača za titraje,

koji su paralelni sa glavnom osi, a najslabija za titraje iste boje, koji su okomiti na glavnu os, ili je najslabija za titraje izvjesne boje, koji su paralelni sa glavnom osi, a najjača za titraje iste boje, koji su okomiti na glavnu os, t. j. kod jednih je minerala najjača apsorpcija za ordinarnu, kod drugih za ekstraordinarnu zraku. Kod jednoosnih minerala, koji su optički pozitivni, apsorpcija je jača za ekstraordinarnu zraku od apsorpcije za ordinarnu zraku  $O < E$ , a kod minerala, koji su optički negativni, apsorpcija je za ordinarnu zraku jača od apsorpcije za ekstraordinarnu zraku  $O > E$ , t. j. zraka, koja se jače lomi, biva i jače apsorpirana.

Kako optički jednoosnom mineralu određujemo samo eksponente loma svijetla za zrake najveće i najmanje brzine,  $\omega$  i  $\epsilon$ , tako određujemo i apsorpciju svijetla samo za smjerove, gdje je ona najveća i najmanja, t. j. apsorpciju svijetla samo za ordinarnu zraku  $O$  i ekstraordinarnu zraku  $E$ . Bezbojni minerali, oni, kod kojih je jakost apsorpcije za razne boje posvema neznatna, nezamjetljiva, ne mogu imati pleohroizma; oni su u svim smjerovima bezbojni.

Od optički jednoosnih minerala, koji se odlikuju jakim pleohroizmom, spomenut ćemo bojadisane vrste turmalina, što dolaze i u krečnjacima našega krša kao sitni kristalići. Kod turmalina, jer je optički negativan, apsorpcija je ordinarne zrake  $O$  znatno jača od apsorpcije ekstraordinarne zrake  $E$ , pa nalazimo među našim turmalinima i takovih, gdje je

$O =$ tamno modar,	$E =$ crvenkast,
$O =$ zelen,	$E =$ bezbojan,
$O =$ tamno smeđi,	$E =$ siv i t. d.

Pleohroizam se kod optički jednoosnih minerala ne pokazuje u svim smjerovima. Kad bismo imali na pr. pločicu turmalina, koji je brušen okomito na glavnu (optičku) os, pa je posmatrali kroz dihoskopsku lupu, ne bismo vidjeli pleohroizma; pločica bi bila u svakom položaju jednake boje; okretali kvadratičan otvor na dihoskopu, na koju god stranu, uvijek ćemo vidjeti dvije kvadratične slike jednake boje kao da promatramo kakav izotropan mineral; optički jednoosni mineral u smjeru glavne (optičke) osi jest dakle izotropan. U svim drugim smjerovima dolazi do pleohroizma. Kao što je kod optički jednoosnih minerala za širenje svijetla valovna ploha rotacioni elipsoid, tako je i za apsorpciju izvjesne boje kod jednoosnih minerala apsorpciona ploha rotacioni elipsoid.

Kod optički dvoosnih minerala, gdje se svijetlo širi u tri međusobno okomita smjera najvećom, srednjom i najmanjom brzinom, u tim je smjerovima i apsorpcija najveća, srednja i najmanja. Optički dvoosni minerali apsorpiraju dakle svijetlo u raznim smjerovima različitom jakosti, pa je kod njih apsorpciona ploha za izvjesnu boju troosni elipsoid.

Kako ima dvoosnih minerala, koji su bezbojni i bojadisan, tako ima dvoosnih minerala, koji su pleohroitski i koji nisu pleohroitski. Kod kojih

se minerala pojavljuje pleohroizam, određuje se uvijek apsorpcija za smjerove, gdje je ona najjača, srednja i najslabija, kao što smo određivali i eksponente loma  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  za zrake najveće, srednje i najmanje brzine. Ako označimo smjer, u kom je svjetlo najveće brzine sa gotskim slovom  $a$ , u kom je srednje brzine sa gotskim slovom  $b$ , u kom je najmanje brzine gotskim slovom  $c$ , onda u tim smjerovima može biti apsorpcija svjetla za izvjesnu boju ili najjača ili srednja ili najslabija, t. j.  $a > b > c$  ili  $b > c > a$ , ili  $c > b > a$  ili  $b = c > a$  i t. d. Tako na pr. hipersteni iz andezita gore Ivanšćice u sjeverozapadnoj Hrvatskoj pokazuju pleohroizam  $a = \text{žučkast}$ ,  $b = \text{žučkasto crven}$ ,  $c = \text{sivkasto zelen}$ ; amfibol (rogovača) iz andezita planine Dudice u južnoj Srbiji pokazuje pleohroizam  $a = \text{žut}$ ,  $b = c = \text{crveno smedj}$ ; glaukofan, vrsta amfibola u glaukofanskim škriljcima iz Fruške Gore u Srijemu, pokazuje pleohroizam  $a = \text{žučkasto zelen}$ ,  $b = \text{crvenkasto ljubičast}$ ,  $c = \text{modar kao nebo}$ ; gamzigradit, vrsta amfibola iz andezita od Gamzigrada u istočnoj Srbiji, pokazuje pleohroizam  $a = \text{mrko zelenkast}$ ,  $b = \text{zagasito mrko crvenkast}$ ,  $c = \text{mrk u crvenkastoj nijansi}$ ; biotiti iz dacita od Srebrnice u Bosni pokazuju pleohroizam  $a = \text{blijeđo žut}$ ,  $b = c = \text{crveno smedj}$ .

U prerezima, koji su okomiti na optičku os, dakle tamo gdje se svjetlo širi na sve strane jednakom brzinom, nema uopće pleohroizma, jer je tamo apsorpcija u svim smjerovima jednaka.

Od minerala, koji se odlikuju osobito jakim pleohroizmom, spomenut ćemo turmalin, biotit i amfibol.

**87. Optička svojstva minerala istražujemo pomoću polarizacionih sprava.** Neka optička svojstva minerala, na pr. lom i dvojom svjetla, jednoosnost i dvoosnost, pozitivnost i negativnost dvoloma, pleohroizam itd. ne možemo istraživati golim okom. Želimo li se upoznati sa optičkim svojstvima minerala, moramo posegnuti za nekim spravama, koje će omogućiti, da zadjemo i u optičke tajne minerala. Za približno poznavanje optičkih svojstava mogu poslužiti *turmalinska kliješta*.

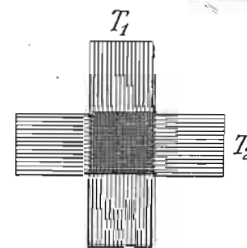
Turmalin je vrlo lijep mineral; razvio se u hemimorfnim kristalima trigonske hemiedrije heksagonskoga sustava, te se pokazuje u raznim bojama. Neki su mu kristali crni, neki crveni, ružičasti, zeleni, smedji itd. Taj smo turmalin već nekoliko puta napominjali, na pr. kad smo pomoću njegove pločice prepoznavali polarizovano svjetlo od običnoga (67); pomoću te pločice mogli smo ispitati prirodu svjetla, odrediti, da su zrake, ordinarna i ekstraordinarna, koje postaju kad svjetlo udje u optički jednoosan mineral, polarizovane (81); pomoću turmalinske pločice mi smo ispitivali prirodu svjetla, koje postaje pri refleksiji i lomu (75). Iz svih tih pokusa mogli smo razabrati, da turmalinska pločica, koja je brušena paralelno sa glavnom osi, u jednom smjeru svjetlo propušta, a u smjeru na to okomitom svjetlo zadržava. Turmalin je mineral anizotropan; svjetlo se

u njem cijepa u dvije zrake, ordinarnu i ekstraordinarnu. Ali smo vidjeli, da turmalin ima tu osobinu, da propušta samo one zrake, koje titraju smjerom njegove glavne osi, a zrake svjetla, koje titraju okomito na glavnu os, apsorbira (86). Kako smjerom glavne osi titra ekstraordinarna zraka, a okomito na nju ordinarna zraka (83), turmalin propušta ekstraordinarnu, a apsorbira ordinarnu zraku.

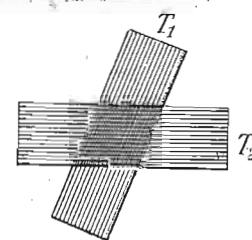
Pokušajmo kroz turmalinsku pločicu, koja je brušena paralelno sa glavnom osi, posmatrati obično svjetlo, na pr. ono, što dolazi od lampe ili od sunca. Okretali pločicu u njenoj ravnini desno ili lijevo, pod kojim god kutom (uglom), mi ćemo kroz nju vidjeti uvijek osvjetljenje, koje će biti jače ili slabije, već prema debljini i boji pločice. Kad bismo uzeli još jednu isto tako brušenu pločicu turmalina, pa obje pločice postavili jednu povrh druge tako, da su u paralelnom položaju, mi bismo i opet vidjeli rasvjetu, kad bismo kroz njih posmatrali obično svjetlo. Ali čim bismo jednu od pločica počeli okretati na desno ili lijevo, t. j. čim bi jedna pločica prema drugoj došla u kos položaj, rasvjeta bi bila slabija, pa u položaju, gdje bi jedna pločica bila okomita na drugoj, ne bismo uopće više vidjeli osvjetljenja; velimo: *turmalinske su pločice u unakrštenom položaju tamne*. Ta je pojava u skladu sa apsorpcijom svjetla u turmalinu. Turmalin propušta samo one zrake, koje titraju smjerom glavne osi. Kad su turmalinske pločice jedna povrh druge u paralelnom položaju, dakle kad su njihove glavne osi međusobno paralelne, ekstraordinarna zraka, koja titra smjerom glavne osi, prolazi nesmetano kroz turmalinsku pločicu i zalazi u drugu, koja je sa prvom paralelna, pa i tu, titrajući smjerom glavne osi, dopire do našega oka. Dakle: *kad su titrajne ravnine jedne i druge pločice međusobno paralelne, vidi se kroz njih osvjetljenje* (sl. 690.). Ali ako jednu pločicu postavimo povrh druge okomito, dakle u položaj, gdje su njihove glavne osi međusobno okomite, ekstraordinarna zraka, koja je izašla iz turmalinske pločice titrajući paralelno sa glavnom osi, došla je do druge pločice, koja je sa svojom osi okomita na titraje ekstraordinarne zrake. Kako turmalin ima osobinu, da ne propušta



SI. 690.



SI. 691.

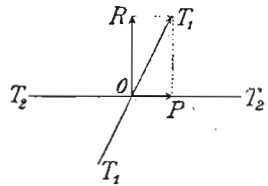


SI. 692.

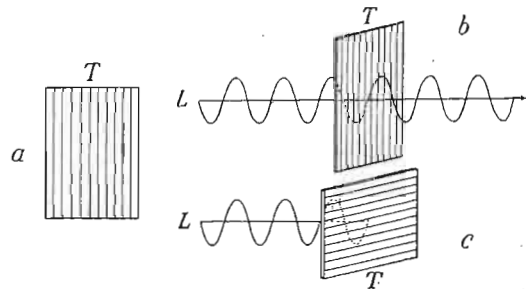


one zrake, koje titraju okomito na njegovu glavnu os, nego ih apsorbira, ne će svijetlo uopće doprijeti do našega oka; turmalinske su pločice tamne. Dakle: kad su titrajne ravnine jedne i druge pločice medju sobom okomite, dolazi do potamnjenja (sl. 691.).

Ako su turmalinske pločice u kosom položaju (sl. 692.), dakle ako su njihove titrajne ravnine medju sobom kose, vidi se jače ili slabije osvjetljenje. Iz donje turmalinske pločice  $T_1$  (sl. 693.), u kojoj zraka izvodi titraje u smjeru  $OT_1$ , dolazi zraka sa istom titrajnom ravninom do turmalinske pločice  $T_2$ ; u tom smjeru ne propušta druga turmalinska pločica druge titraje osim onih, koji bi titrali u smjeru  $OT_2$ . Ali kako svako gibanje, tako se i gibanje ekstraordinarne zrake iz donje turmalinske pločice, daje rastaviti u dvije komponente. Ako pustimo iz  $T_1$  na  $OT_2$  okomicu  $T_1P$ , dobit ćemo paralelogram sila, u kom je dijagonala  $OT_1$ ; jedna je komponenta  $OP$ , druga komponenta  $OR$ . Komponenta  $OP$  ima isti titrajni smjer kao i turmalinska pločica  $T_2$ , dakle će taj dio zrake turmalinska pločica propustiti, dok će drugi dio, komponentu  $OR$  zaustaviti, pa će se osvjetljenje vidjeti slabije.



Sl. 693.



Sl. 694.

Da te pojave lakše shvatimo, mogli bismo zamisliti turmalin, kao da je sastavljen od samih neograničeno tanušnih listića, koji su zauzeli položaj paralelan sa glavnom osi turmalina (sl. 694.a). Kad dodje zraka sa svojim titrajima, koji su paralelni glavnoj osi, moći će ona lako da izvodi te titraje u smjeru listića, pošto joj oni ne će stavljati nikakove zapreke (sl. 694.b). Ali ako dodje zraka sa titrajima, koji su okomiti na listiće, u tom će položaju zaustavljati listiće titraje; zrake svijetla ne će moći da se šire (sl. 694.c). Ako dakle zamislimo, da je turmalin u svojoj nutрини tako sagradjen, lako ćemo shvatiti, da će turmalinska pločica u svakom položaju propuštati obično svijetlo, pošto ono titra u svim ravninama, koje su okomite na smjer širenja, pa će uvijek jedna titrajna ravnina biti paralelna sa glavnom osi, t. j. zrake će titrati u smjeru listića. Kod polarizovanoga svijetla, gdje se nalazi samo jedna titrajna ravnina, u kojoj svijetlo titra, vidjet će se osvjetljenje samo

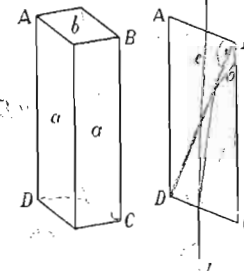
onda, kada ta ravnina bude paralelna sa glavnom osi. Kako turmalin propušta samo ekstraordinarnu zraku, a ta je, kako znamo, polarizovana (81), mi ćemo vidjeti kroz drugu turmalinsku pločicu osvjetljenje, kad titrajne ravnine jedne i druge pločice budu paralelne (sl. 690.); u kosom položaju osvjetljenje je slabije (sl. 692.), a u okomitom nastaje pomračenje (sl. 691.).

Od dvije turmalinske pločice, koje su brušene paralelno sa glavnom osi, priredjujemo t. zv. turmalinska kliješta (sl. 695.). Svaka se pločica umetne u okvir tako, da se može u svojoj ravnini okretati zajedno sa okvirom; okvir se uhvati sa dva kovna drška, koji imaju oblik kliješta. Istražujući mineral, stavimo ga medju turmalinske pločice, koje možemo okretanjem dovesti u koji god položaj.

Za tačnija i podrobnija istraživanja optičkih svojstava minerala upotrebljavamo najviše kalcitovu prizmu, koju je za optička istraživanja priredio engleski fizik William Nicol, te se po njemu i zove Nicolova prizma ili samo nicol.



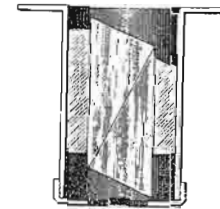
Sl. 695.



Sl. 696.



Sl. 697.



Sl. 698.



Sl. 699.

Kao turmalin tako i kalcit lomi svijetlo u dvije zrake, u ordinarnu i ekstraordinarnu. Ali dok turmalin apsorbira ordinarnu zraku, a propušta samo ekstraordinarnu zraku, kalcit propušta obje zrake (81). Moramo dakle na neki način ukloniti ordinarnu zraku tako, da iz kalcita izadje samo ekstraordinarna zraka. Tome se načinu domislio W. Nicol.

Iz posve čista i bistra kalcitova kristala iskala se romboedrijska kalotina, koja valja da je tri puta tako dugačka, kako je široka (sl. 696.). Takva kalotina sastavljena je iz četiri veće  $a$  i dvije manje plohe  $b$ ; njezin glavni prevez ABCD prikazuje slika 697. Manje plohe  $b$ , čine sa tupim bridom (ivicom) dužih ploha  $a$  kut (ugao) od  $71^\circ$ . Obje te manje plohe odbruse se tako, da taj kut ne iznosi više  $71^\circ$  nego  $68^\circ$ . Na taj način priredjena kalcitova kalotina prepili se u smjeru okomitom na plohu  $b$  i na glavni prevez (sl. 697.) ABCD; ispiljene se strane izgleda i poliraju, te se obje

pole sa kanadskim balzomom opet slijepe u prijašnji položaj. Ovako priredjena prizma stavi se u čahuru od pluta tako, da su manje plohe *b* slobodne, otvorene (sl. 698.); ili se prizma umetne zajedno sa čahuricom od pluta u metalni omot, koji je sa gornje i donje strane otvoren tako, da svijetlo može padati na slobodne plohe prizme i kroz nju prolaziti (sl. 699.).

Neka na CD pada zraka svijetla *L* u smjeru paralelnom sa stranicom *AD* (sl. 697.); u kalcitu će se ona rastaviti u dvije zrake, ordinarnu *o* i ekstraordinarnu *e*. Obje će zrake proći kroz prvu polovicu kalcitove prizme i doći će do sloja kanadskoga balzama, koji spaja obje polovice. Ekstraordinarna zraka giba se u smjeru, gdje je njezin eksponent loma  $\epsilon = 1,536$  (zato smo i morali malo odbrusiti kalotinu, da se može ekstraordinarna zraka širiti baš u tom smjeru, gdje joj je eksponent loma  $\epsilon = 1,536$ ). Taj isti eksponent loma svijetla ima i kanadski balzam,  $n = 1,536$ . Prolazeći iz kalcita u balzam nastavila je ekstraordinarna zraka svoj put u istom smjeru, jer je zašla u tijelo, koje ima isti eksponent loma svijetla kao i sam kalcit; zašla je dakle u tijelo iste gustine. Kad iz kanadskoga balzama izadje, ulazi ponovice u kalcit (u drugu polovicu prizme) pa i tu putuje dalje ne mijenjajući svoga smjera s istoga razloga, s kojega nije mijenjala ni u kanadskom balzamu, te napokon izadje iz kalcitove prizme, iz nikola, u istom smjeru, u kom je u kalcit ušla.

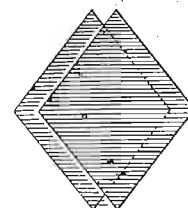
Posmatrajmo ordinarnu zraku! Njezina je osobina, da joj je eksponent loma u svakom smjeru stalan (83), dakle će biti stalan i u ovom smjeru, u kom se svijetlo širi u Nicolovoj prizmi; eksponent joj je loma  $\omega = 1,6583$ , dakle znatno veći od eksponenta loma kanadskoga balzama. Došavši na granicu kalcita i kanadskoga balzama, došla je na granicu gušćega i rjeđjega tijela i lomila bi se od okomice. Ali brušenjem kalcitove kalotine od  $71^\circ$  na  $68^\circ$  širi se ona baš u takvom smjeru, da dolazi na kanadski balzam pod kutom (uglom), koji je prekoračio granični kut totalne refleksije, pa ne ulazi uopće u balzam, nego se totalno reflektira (73); iz Nicolove prizme ili nikola izlazi dakle jednako, kao i iz turmalina, samo ekstraordinarna zraka, koja je potpuno polarizovana izvodeći titraje, koji su paralelni kraćoj dijagonali manjih prizminih ploha.<sup>1)</sup>

Dok je dakle propuštanje samo ekstraordinarne zrake osnovano kod turmalina na totalnoj apsorpciji, osnovano je ono kod Nicolove prizme ili nikola na totalnoj refleksiji ordinarne zrake.

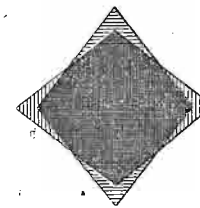
Kako nikol ima samo jednu titrajnu ravninu, u kojoj titra ekstraordinarna zraka, možemo lako pomoću njegovom odrediti, baš kao i sa turmalinskom pločicom, koje je svijetlo polarizovano, a koje obično. Dok su nikoli paralelni, vidimo kroz njih osvjetljenje (sl. 700.), dok su unakršteni (sl. 701.) nema osvjetljenja, nego dolazi do pomračenja. Kad nikole

<sup>1)</sup> Da totalno reflektirana ordinarna zraka bude apsorbirana, prekriju se tanušnim slojem čadje oduljene plohe nikola, koji se nalazi u čahuri.

pomičemo prema paralelnom položaju, osvjetljenje postaje jače; kad ih okrećemo okomitom položaju, osvjetljenje postaje slabije (87).



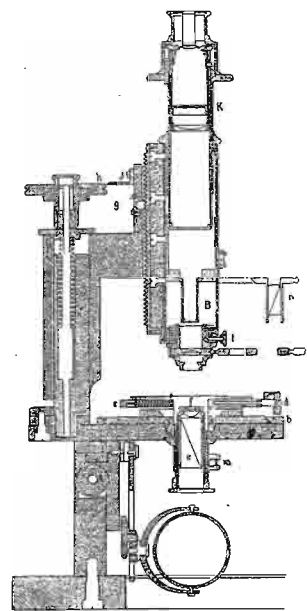
Sl. 700.



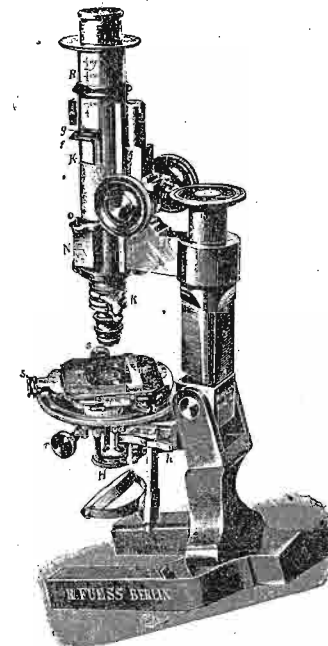
Sl. 701.

Osim Nicolove konstrukcije kalcitove prizme, ima i drugih konstrukcija, koje potiču od raznih fizika. Tako se upotrebljava i kalcitova prizma od Foucaulta, od Hartnacka, Prazmowskoga i Thompsona, od Glana, od Feussnera, od d'Ahrensa.

Sa optičkim istraživanjem minerala imamo najviše posla, kad proučavamo mineralni sastav stijena. Minerali su u stijenama tako sitni, da ih istom pomoću mikroskopa tačno razabiramo. U tako sitnim mineralima valja odrediti optička svojstva. U tu svrhu služe nikoli, koji se na zgodan



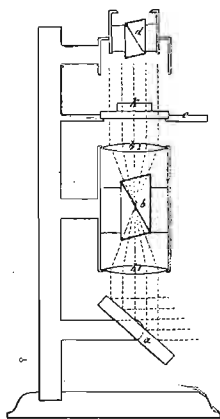
Sl. 702.



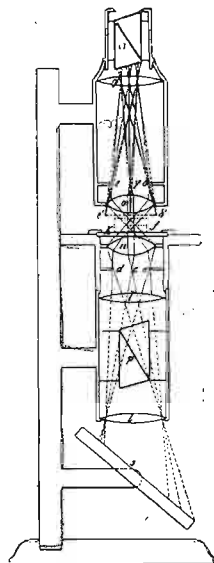
Sl. 703.

način spoje sa mikroskopom (sl. 702.) tako, da ih možemo po volji postaviti u paralelan ili u unakršten položaj ili ih iz mikroskopa lako uklopimo. Jedan nikol  $e$  dolazi ispod objektiva i ispod mikroskopskoga „stola“, na kojem se nalazi mineral, kad ga istražujemo. Svrha je toga donjega nikola, da obično svijetlo pretvori u polarizovano; na taj način izlazi iz donjega nikola polarizovano svijetlo; taj nikol zbog toga i zovemo polarizatorom, jer polarizuje svijetlo. Drugi nikol  $n$ , gornji, dolazi u mikroskop ili povrh okulara ili u tubus blizu donjega kraja između okulara i objektiva; njegova je svrha ispitivati (analizirati) pojave, što se vrše u polarizovanom svijetlu, pa ga zato zovemo analizatorom. Mikroskop udešen tako za istraživanje u polarizovanom svijetlu pomoću nikola zovemo polarizacionim mikroskopom (sl. 703.).

Svijetlo dolazi od nekoga izvora, na pr. od Sunca ili od lampe kao svežanj paralelnih zraka (sl. 704.); od zrcala  $a$  se odbiju te paralelne



Sl. 704.



Sl. 705.

zrake i dolaze u donji nikol, u polarizator  $b$ , koji se nalazi između dvije leće  $b_1$ ,  $b_2$ . Ako nema gornjega nikola, analizatora  $d$ , dolaze zrake kao polarizovane kroz objektiv i okular do oka; vidno polje mikroskopa je osvijetljeno. Ako stavimo povrh donjega nikola, polarizatora  $b$ , gornji nikol, analizator  $d$  tako, da su titrajne ravnine jednoga i drugoga nikola paralelne, bit će vidno polje u mikroskopu osvijetljeno. Kako pomičemo

analizator ili polarizator iz paralelnoga u kosi položaj, postajat će vidno polje sve slabije osvijetljeno, pa u času, kad nikoli budu unakršteni, t. j. kad njihove titrajne ravnine zauzmu položaj takav, da su među sobom okomite, vidno je polje mikroskopa potpuno tamno; kad su nikoli paralelni, vidno je polje mikroskopa osvijetljeno, kad su unakršteni, vidno je polje tamno. Minerale istražujemo pomoću polarizacionoga mikroskopa ili samo sa polarizatorom ili med unakrštenim nikolima.

Mineralna pločica  $k$  (sl. 704.), koja je planparalelna, nalazi se na mikroskopskom „stolu“. Iz polarizatora ulazi u nju okomito samo jedan svežanj paralelnih zraka; u tom slučaju istražujemo mineralnu pločicu u paralelnom polarizovanom svijetlu, pa polarizacioni mikroskop, koji pušta na mineralnu pločicu paralelno polarizovano svijetlo u okomitom smjeru, zovemo, ortoskopom. Ali iz polarizatora može da udje u mineralnu pločicu nebrojeno mnogo svežanja paralelnih zraka pod raznim kutovima; jedne paralelne zrake ulaze u pločicu u okomitom položaju, a jedne u razno nagnutim smjerovima; u mineralnu pločicu ulazi dakle konvergentno polarizovano svijetlo (sl. 705.). Polarizacioni mikroskop, koji služi za istraživanje minerala u konvergentnom polarizovanom svijetlu, zove se konoskop. Zrake, koje izadju iz mineralne pločice, imaju isti smjer, koji su imale, kad su ušle u mineral, pa ako je mineral dvoloman, pretrpjele su zrake u njemu dvolom. Ortoskop se daje lako pretvoriti u konoskop pomoću t. zv. kondenzora. Kondenzor je sastavljen od sistema leća, koje paralelno svijetlo pretvaraju u konvergentno.

**88. Za mikroskopsko optičko istraživanje treba imati preparate t. zv. izbruske.** U prijašnjem smo poglavlju istaknuli, da s optičkim istraživanjem minerala imamo najviše posla kod mikroskopskoga proučavanja mineralnoga sastava stijena. Stijene su sastavljene od različitih minerala, koje ne možemo istraživati ni geometrijskim ni kemijskim putem, nešto zbog toga, jer se minerali nisu razvili u jasnim kristalima, koji bi bili zgodni za goniometrijska mjerenja, nešto zbog toga, što su tako izmiješani, da ih je teško razlučiti jedne od drugih, pa je nemoguće kemijski istražiti svaki pojedini mineralni sastavak sam za sebe. Moramo se poslužiti dakle optičkim metodama, pomoću kojih ćemo upoznati prirodu svakog pojedinog mineralnoga sastavka neke stijene.

Da neki mineral istražimo optički, mora on biti tako tanušan, da svijetlo kroz njega prolazi. Zbog toga moramo od stijena, čiji mineralni sastav proučavamo, prirediti zgodne preparate za mikroskopsko proučavanje. U tu svrhu odbijemo od stijene omanji komadić, pa ga brusimo do izvjesne debljine, koja je dovoljna za propuštanje svijetla. Možemo mikroskopske preparate prirediti ručnim radom na ovaj način:

Na ravnu cinkanu ploču prospe se malo korundova praha, t. zv. šmirgla, ili praha od karborunda i nakvasi vodom. Sad se po tako nakvašenom

prahu struže sa komadićem stijene u formi kruga. Trenjem stijene o šmirgl ili karborund pomalo se ona brusi i dobiva sve veću ravnu plohu na strani brušenja. Brzina brušenja zavisit će o tvrdini mineralnih sastavaka u stijeni; što su sastavci tvrdji, brušenje je polaganije. Zato će se na pr. stijene, koje su sastavljene od kremenca i glinenaca teže brusiti od stijena, koje su sastavljene na pr. od kalcita. Kad smo brušenjem dobili s jedne strane stijene ravnu plohu, prijedjemo sa brušenjem na ploču od debela stakla i opet na njoj brusimo preparat sa šmirglom ili karborundovim prahom; za to brušenje mora biti prah vanredno fin tako, da se pločica brušenjem toliko uglači, da bude kao polirana. Čim je preparat s jedne strane posvema uglačen, da se ni lupom ne mogu na toj uglačanoj plohi opaziti kakove rupice, prilijepi se preparat pomoću kanadskoga balzama na staklo i brusi dalje na cinkanoj ploči s druge strane, dok preparat ne bude tako tanušan, da se kroz njega već vidi. U toj debljini preparata prijedje se s njim ponovice na staklenu ploču i vrlo oprezno brusi sa finim šmirglom ili karborundovim prahom, dok pločica ne bude tanka 0,02—0,05 mm. Ako želimo saznati, da li je pločica dosta tanka, najbolje je posmatrati je pomoću mikroskopa međ unakrštenim nikolima; ako je u stijeni kremenca ili glinenaca, bit će oba ta minerala, ako je preparat dovoljno tanak, u paralelnom polarizovanom svijetlu međ unakrštenim nikolima sivi; ako su ti minerali međ unakrštenim nikolima živih boja, preparat je još uvijek predebeo.

Kad smo postigli brušenjem dovoljnu debljinu, skinemo oprezno preparat, prilijepimo ga pomoću kanadskoga balzama na t. zv. objektno staklo i pokrijemo sa t. zv. pokrovnim stakalcem pomoću kanadskoga balzama. Preparat stijene (njezini mineralni sastavci) nalaze se tako uklopljeni u kanadskom balzamu. Preparate stijena, koje smo dobili brušenjem, zovemo *izbruscima*.

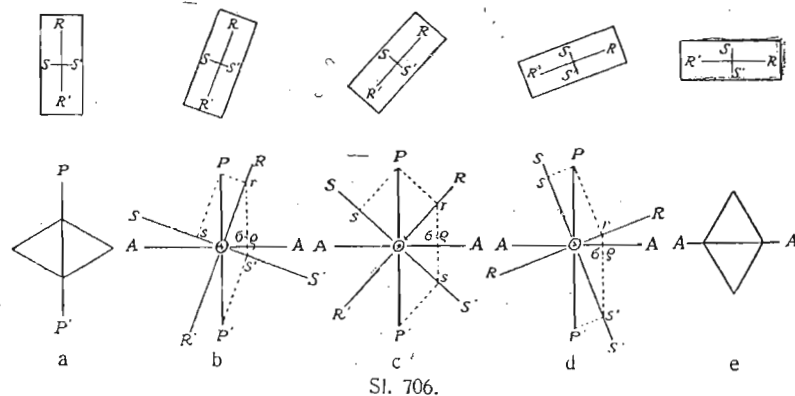
Dakako da ima danas vrlo usavršenih aparata, pomoću kojih možemo prirediti izbruske. Ti su aparati osobito važni, kad treba od nekoga minerala izbrusiti t. zv. *orijentirane prereze*, t. j. prereze minerala smjerom nekih kristalnih ploha.

Kad treba optički istražiti neki mineralni prah, pijesak, možemo prirediti mikroskopske preparate na način, kojim se radi u zagrebačkom mineraloško-petrografskom institutu:

Fini mineralni prah, na pr. prah sa Vezuva, prah, što ostaje nakon otapanja krečnjaka u octenoj (sirćetnoj) kiselini ili prah iz kojega pijeska, stavi se u posve neznatnoj količini na objektno staklo, nakvasi kapljicom destilovane vode i pusti da se na staklu osuši. Kad se prah osuši, drži se čvrsto objektnoga stakla; sad se stavi na prah kapljica kanadskoga balzama i sa pokrovnim staklom pokrije kao i kod izbrusaka. Na taj način možemo dobiti trajne preparate raznoga mineralnoga praha, koji se da mikroskopskim istraživanjem optički odrediti.

**89. Različiti minerali različito se ponašaju međ unakrštenim nikolima.** Ako imamo u izbrusku koji izotropni mineral, teseralni ili amorfni, pa ga posmatramo u polarizacionom mikroskopu međ unakrštenim nikolima, bit će on u svakom položaju taman, posmatramo li ga u paralelnom ili u konvergentnom polarizovanom svijetlu, bio on brušen u kojem god smjeru. Svijetlo, koje je iz polarizatora ušlo u mineral, ušlo je u izotropno tijelo i tu je nastavilo svoj put u istom titrajnom smjeru (sa istom titrajnom ravninom), koji je imalo i u polarizatoru, pa će s tim titrajnim smjerom doći do analizatora, kômu je titrajna ravnina okomita na titrajnu ravninu polarizatora, i analizator ne će propuštati toga svijetla; mineral će ostati pomračen. Dakle: *izotropni minerali, teseralni i amorfni, međ unakrštenim su nikolima i u paralelnom, i u konvergentnom polarizovanom svijetlu u svakom položaju tamni.*

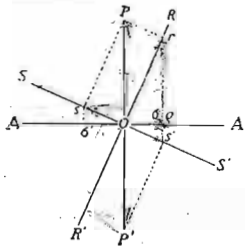
Posmatrajmo pločicu kojega anizotropnoga minerala u paralelnom polarizovanom svijetlu međ unakrštenim nikolima: Neka bude  $RR'$  i  $SS'$  (sl. 706.) položaj titrajne ravnine svijetla u anizotropnom mineralu, a  $PP'$  i  $AA$  položaj titrajne ravnine svijetla u polarizatoru i analizatoru. Ako postavimo pločicu minerala u položaj, da je njegova titrajna ravnina svijetla  $RR'$  paralelna sa titrajnom ravninom svijetla  $PP'$  u polarizatoru (sl. 705.a), mineral će biti taman, pošto će svijetlo izašavši iz polarizatora ući u mineral sa onom titrajnom ravninom, koja je paralelna titrajnoj ravnini svijetla u mineralu; svijetlo se u mineralu ne će uopće lomiti, nego će s istom titrajnom ravninom, s kojom je ušlo u mineral, iz njega izaći i doći tako do analizatora, koji ne propušta onih zraka, kojima je titrajna ravnina okomita na njegovu titrajnu ravninu. Dakle: kad je titrajna ravnina u polarizatoru paralelna sa titrajnom ravninom u mineralu, mineral je u paralelnom polarizovanom svijetlu međ unakrštenim nikolima taman. Ako okrenemo mineralnu pločicu iz pomenutoga položaja za  $90^\circ$  (sl. 706.e), mineral će i u tom



Sl. 706.

položaju biti taman, jer je sada titrajna ravnina svijetla  $SS'$  u mineralu paralelna sa titrajnom ravninom svijetla  $PP'$  u polarizatoru; u mineralu opet ne će doći do dvoloma, svijetlo će iz polarizatora ući u mineral sa titrajnom ravninom, koja je paralelna titrajnoj ravnini u mineralu i s tom istom titrajnom ravninom izaći će iz minerala, doći do analizatora, koji ne će propustiti svijetla, komu je titrajna ravnina okomita na njegovu titrajnu ravninu; mineral će biti taman. *Svaki put dakle, kad dodje titrajna ravnina svijetla u mineralu u paralelnom položaju sa titrajnom ravninom svijetla u polarizatoru, dvoloman mineral bit će med unakrštenim nikolima u paralelnom polarizovanom svijetlu taman;* u okretaju od  $360^\circ$  to će se dogoditi četiri puta, t. j. u položaju od  $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$ .

Šta će se dogoditi sa svijetlom, ako postavimo mineralnu pločicu tako, da njezine titrajne ravnine svijetla  $OR$  i  $OS$  čine neki kut (ugao) sa titrajnim ravninama  $OP$  u polarizatoru (sl. 706., b, c, d)? U tom slučaju zraka, koja je izašla iz polarizatora sa titrajnom ravninom, koju je imala u polarizatoru, zašla je u mineral i lomi se u dvoje, u zraku  $Or$  i  $Os$ , od kojih jedna titra u smjeru  $OR$ , druga u smjeru  $OS$ . U tom ih smjeru ne može da propusti analizator, ali kako se obje zrake raspadaju u svoje komponente, propustiće analizator onu komponentu, kojoj je titrajna ravnina paralelna njegovoj titrajnoj ravnini (87). Veličina komponentata zavisiće o kutu, što ga čine titrajne ravnine u mineralu sa titrajnim ravninama u polarizatoru. Objе zrake, što su postale u mineralu dvostrukim lomom, titraju sa nekom „razlikom u hodu“, t. j. jedna zraka zaostaje za drugom za



Sl. 707.

izvjesne valovne dužine. „Razlika u hodu“ jedne i druge zrake bit će proporcionalna debljini pločice i jakosti dvoloma. Komponente, koje izvode titraje paralelne titrajima svijetla u analizatoru, izlaze iz minerala sa istim titrajnim ravninama, pa će se djelovanjem interferencije pretvoriti u jedno zajedničko gibanje (68). *Kada dodju u analizator, komu je titrajna ravnina okomita na titrajnu ravninu polarizatora, interferiraju sa drugom fazom, negoli su titrate u času, kad su izašle iz minerala.* Posmatrajmo taj slučaj na slici 707.

Neka je  $PP'$  smjer titranja zrake u polarizatoru,  $AA$  smjer titranja zrake u analizatoru,  $RR'$  i  $SS'$  smjer titranja jedne i druge zrake u mineralu. Ako su obje zrake izašle iz minerala s istim fazama, t. j. ako se je zraka, koja je ušla u mineral iz polarizatora sa titrajnom ravninom  $OP$ , rastavila u dvije zrake, u  $Or$  i  $Os$ , to će analizator propustiti od zrake  $Or$  komponentu  $O\rho$ , a od zrake  $Os$  komponentu  $O\sigma$ ; obje dakle zrake nalaze se na protivnim stranama pa interferiraju sa protivnim fazama. Ako su obje zrake, koje izlaze iz minerala, protivnih faza, t. j. ako se je zraka, koja je ušla

u mineral iz polarizatora sa titrajnom ravninom  $OP$ , rastavila u dvije zrake, u  $Or$  i  $Os$ , to će analizator propustiti od zrake  $Or$  komponentu  $O\rho$ , a od zrake  $Os$  komponentu  $O\sigma$ ; obje su zrake na istoj strani, interferiraju dakle sa istim fazama.

Posmatrajmo mineral u monohromatskom svijetlu med unakrštenim nikolima. Neka je debljina mineralne pločice baš tolika, da obje zrake izašavši iz pločice zaostaju jedna za drugom za  $\frac{1}{2}\lambda$  ili za neparni višekratnik  $\frac{1}{2}\lambda$  upotrebljenoga monohromatskoga svijetla; izašle su dakle iz minerala sa protivnim fazama, pa interferiraju, kako smo malo čas čuli, sa istim fazama; t. j. mineralna pločica pokazuje osvjetljenje, koje je nastalo zbrojem amplituda jedne i druge zrake (68). Osvjetljenje će biti najjače, kad titrajne ravnine nikola budu činile sa titrajnim ravninama minerala kut od  $45^\circ$  (sl. 706.c).

Ako upotrebimo mjesto monohromatskoga svijetla bijelo svijetlo, najjače će osvjetljenje minerala biti za one boje, koje budu interferirale sa istim fazama, t. j. čija „razlika u hodu“ pri izlazu iz minerala bude iznosila  $\frac{1}{2}\lambda, \frac{3}{2}\lambda$  i t. d.; druge boje, koje pri izlazu minerala nemaju „razliku u hodu“ od  $\frac{1}{2}\lambda, \frac{3}{2}\lambda$  i t. d., interferiraju sa protivnim fazama, pa njihovo osvjetljenje ne će odgovarati zbroju amplituda zraka, koje interferiraju. Zbog toga će mineralna pločica u okretaju od  $360^\circ$  biti četiri puta tamna, naime kad njezine titrajne ravnine budu paralelne sa titrajnom ravninom polarizatora. U položaju, gdje titrajne ravnine u mineralu čine neki kut sa titrajnim ravninama nikola, bit će mineral osvjetljen u raznim bojama, koje su postale miješanjem onih boja bijeloga svijetla, što su se pri interferenciji pojačale ili oslabile; u položaju, gdje titrajna ravnina u mineralu čini sa titrajnim ravninama nikola kut od  $45^\circ$  te će boje, koje zovemo interferencionim ili polarizacionim bojama, biti najjače. U kakvim će smjesnim bojama bijeloga svijetla interferirati mineralna pločica, stoji do debljine njezine. Ako smo na pr. od istoga minerala priredili pločicu neke druge debljine, dakako da će tada neke druge boje izlaziti iz minerala sa protivnim fazama te će interferirati sa istim fazama i mineral će se pojaviti u nekim drugim interferencionim bojama.

Priredimo li od dvolomnoga minerala tako tanu pločicu, ili je mineral tako maloga dvoloma, da iz njega izlaze obje slomljene zrake sa „razlikom u hodu“ od  $\frac{1}{2}\lambda$  boje, kakova se nalazi na kraju ljubičastoga dijela spektra, to će medju interferencionim bojama prevladavati ona boja, čije su zrake izašle iz minerala sa protivnim fazama, dakle boja, koja se nalazi na kraju ljubičastoga dijela spektra. Ali kako je taj dio ljubičastoga dijela spektra neznatne ja-

kosti, bit će smjesna boja, koja je postala interferencijom, svjetlo siva; velimo: mineral interferira u svjetlo sivoj boji. Ako je mineralna pločica nešto deblja, ili je mineral nešto jačega dvoloma, može „razlika u hodu“ obih zraka da iznosi  $\frac{1}{2}\lambda$  intenzivnog žutog dijela spektra; među smjesnim bojama bijeloga svijetla prevladavat će intenzivna žuta boja: mineral će interferirati u intenzivnoj žutoj boji. Bude li pločica minerala još deblja ili je mineral još većega dvoloma, mogu zrake zaostajati jedna za drugom za cio val zelene boje spektra; zelene zrake izašle su dakle iz minerala sa istim fazama, pa interferiraju sa protivnim fazama, t. j. zrake će se zelene boje interferencijom poništiti, dok će se ostale boje pojaviti kao smjesna boja bijeloga svijetla i to tako, da će one zrake biti intenzivnije, koje su udaljenije od zelenoga dijela spektra; mineral će u tom slučaju interferirati u crvenoj boji, koju zovemo *crvenom bojom I reda*. Postane li dvolom samo malo jači, ili je pločica nešto deblja od one, iz koje je izašlo zeleno svjetlo sa „razlikom u hodu“ od cijeloga vala, prijeći će crvena boja I reda u ljubičastu boju; t. j. iz mineralne pločice izlaze zrake sa „razlikom u hodu“ od  $\lambda$  žutoga dijela spektra (kod linije D); prema tome će se ljubičasta boja pri interferenciji pojačati, a žuta poništiti. Od ove ljubičaste boje doći ćemo do *boja II. reda*, kad mineral bude još jačega dvoloma; tada će se pojaviti modra, zelena, žuta, narančasta, crvena i t. d. boja II. reda. Crvena boja II. reda pojaviti će se na pr. onda, kad „razlika u hodu“ bude dvaput tolika, kolika je kod crvene boje I. reda. Bude li pločica još deblja ili mineral još jačega dvoloma, pojaviti će se *boje III. reda*, na pr. modra, zelena, žuta narančasta, crvena boja III. reda i t. d. Crvena boja III. reda pojaviti će se na pr. onda, kad bude „razlika u hodu“ triput tolika, kolika je kod crvene boje I. reda. Pri tom postaju boje sve blijede, gube na intenzitetu, pa kod boja IV. reda već se počinje smjesna interferenciona boja približavati bjelilu. Tako se na pr. kod izvjesne debljine mineralne pločice, pojavljuje crvena boja IV. reda; u tom slučaju zaostaju zrake intenzivnoga zelenoga dijela spektra za  $4\lambda$ , a to je jednako „razlici u hodu“ od  $3\lambda$  intenzivnoga crvenoga dijela spektra i  $5\lambda$  modroga dijela spektra; tu će se dakle sve tri te boje interferencijom poništiti i smjesna će se boja, u kojoj mineral interferira, približiti dosta bijelome svjetlu. Na taj će način minerali jako velika dvoloma interferirati med unakrštenim nikolima u „bjelilu višega reda“; mineral je med unakrštenim nikolima jednako osvijetljen svjetlom, koje se malo razlikuje od bijeloga svijetla. Kod „bjelila višega reda“ interferencijom poništene zrake jednako su podijeljene medju sve boje spektra.

Interferencione su boje vrlo važne kod proučavanja minerala pri mikroskopskom istraživanju izbrusaka stijena. Tako možemo iz interferencione

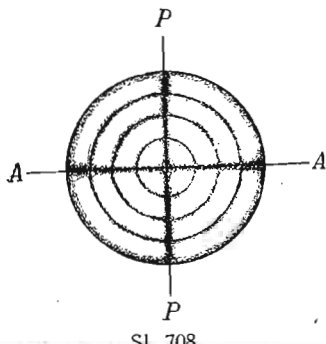
*Optički jednoosni minerali, tetragonski i heksagonski, različito se vladaju u paralelnom polarizovanom i u konvergentnom polarizovanom svjetlu.*  
 Kako je izračunati debljinu mineralne pločice, ako poznamo veličinu dvoloma minerala i obrnuto: iz poznate debljine pločice minerala, možemo po interferencionoj boji odrediti jakost dvoloma tome mineralu.  
 Ovako, kako postaju u dvolomnom mineralu med unakrštenim nikolima interferencione boje, postaju slično i tzv. „Newtonovi interferencioni prsteni“ ili boje tanušnih listića. Te „Newtonove boje“ možemo najlakše dobiti, ako na staklenu pločicu postavimo konveksnu leću. Izmedju leće i ploče nalazi se sloj uzduha, koji je sve tanji, što se više približuje tački, gdje se dodiruje leća ploče. Ako leću osvijetlimo monohromatskim svjetlom, prolazit će ono kroz leću; kako leća nije svagdje jednake debljine, zrake što izlaze iz nje, zaostajat će za razne valovne dužine, pa će se neke interferencijom pojačavati neke poništavati. Oko dodirne tačke leće pojaviti će se osvijetljeni i tamni prsteni. Ako mjesto jednobojnoga svijetla uzmemo bijelo svjetlo, doći će opet do interferencije; jedne će se zrake bijeloga svijetla pojačati jedne poništiti, i vidjet će se smjesna boja, koja se sa debljinom uzdušnoga sloja pravilno mijenja.

**90. Optički jednoosni minerali, tetragonski i heksagonski, različito se vladaju u paralelnom polarizovanom i u konvergentnom polarizovanom svjetlu.** Za izotropne minerale, teseralne i amorfne, kazali smo, da su u paralelnom polarizovanom i u konvergentnom polarizovanom svjetlu u svim smjerovima med unakrštenim nikolima tamni. Optički jednoosni minerali, tetragonski i heksagonski, koji su za svjetlo anizotropni, drugačije se vladaju u paralelnom polarizovanom, a drugačije u konvergentnom polarizovanom svjetlu. Ako želimo istražiti te minerale ili u paralelnom ili u konvergentnom polarizovanom svjetlu, moramo imati od njih orijentirane prereze, t. j. takve prereze, koji su ili okomiti na optičku os ili paralelni sa optičkom osi, ili koji drugi prerez, koji nije ni okomit ni paralelan sa glavnom osi.

Prerezi okomiti na optičku os u paralelnom polarizovanom svjetlu vladaju se kao i izotropni minerali; oni su med unakrštenim nikolima uvijek tamni, pa okretali mineralnu pločicu u njenoj ravnini pod kojim god kutom. Prerezi paralelni sa optičkom osi potamne u paralelnom polarizovanom svjetlu med unakrštenim nikolima četiri puta i to onda, kad su titrajne ravnine u mineralu paralelne sa titrajnom ravninom u polarizatoru (89). Kako se kod tetragonskih i heksagonskih minerala podudaraju titrajne ravnine sa kristalnim osima, potamne ti minerali četiri puta paralelno. U svim drugim položajima ti prerezi interferiraju u izvjesnoj interferencionoj boji, kojoj je intenzitet proporcionalan debljini pločice i jakosti dvoloma. Pa i svi drugi prerezi, koji nisu okomiti na optičku os, potamne također paralelno četiri puta, samo je kod njih jakost interferencionih boja manja negoli u prerezima, koji su paralelni sa optičkom osi. Interferencione boje bivaju sve slabije u prerezima, koji se približuju položaju okomitom na optičku os.

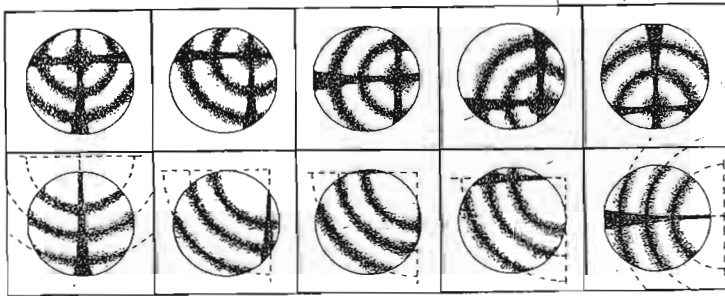
*Izračunati debljinu mineralne pločice, ako poznamo veličinu dvoloma minerala i obrnuto: iz poznate debljine pločice minerala, možemo po interferencionoj boji odrediti jakost dvoloma tome mineralu.*

U konvergentnom polarizovanom svijetlu istražujemo samo one prezeze, koji su okomiti na optičku os, pa ćemo na takvim prerezima moći lako prepoznati optički jednoosan mineral od izotropnoga minerala i od minerala optički dvoosnoga. U konvergentnom polarizovanom bijelom svijetlu pokazuju naime takvi prerezi crni krst, koji je opkoljen koncentričnim bojadisanim kolobarima (sl. 708.). I Krst i kolobari ostaju nepomični, okreću mineralnu pločicu u njezinoj ravnini na koju god stranu, pod kojim god kutom. Zrake, koje su došle iz polarizatora u mineralnu pločicu u smjeru okomitom, što odgovara smjeru, koji je paralelan optičkoj osi, prolaze nepromijenjene kroz mineral; u smjeru glavne osi one se, kako znamo, ne lome. Kako su došle do analizatora sa titrajnom ravninom, koju su imale u polarizatoru, ne propušta ih analizator, pa će tako u središtu vidnoga polja biti tama; tama će biti i u smjeru titrajnih ravnina jednoga i drugoga nikola (sl. 708.), jer se s tim titrajnim ravninama podudaraju titrajne ravnine u mineralu, pa će zrake, koje u tom smjeru dođu do analizatora, biti poništene. Konvergentne zrake, koje dolaze u mineralnu pločicu koso, dakle u smjeru, koji nije paralelan optičkoj osi, lome se u dvoje i njihove komponente, nakon što su došle u istu titrajnu ravninu sa analizatorom (89), interferiraju dajući one lijepe bojadisane koncentrične kolobare.



Sl. 708.

Ako prerez nije posve okomit na glavnu (optičku) os, središte je crnoga krsta pomaknuto iz središta vidnoga polja, pa su dakako i bojadisani kolobari s obzirom na središte vidnoga polja ekscentrični. Središte će se krsta to više udaljavati od središta vidnog polja, što se prerez bude više udaljavao od položaja okomitog na optičku os. Središte krsta u nekim prilično kosim prerezima dopiše i izvan vidnog polja tako, da se u vidnom polju vidi od krsta samo jedan njegov krak; kad okrećemo

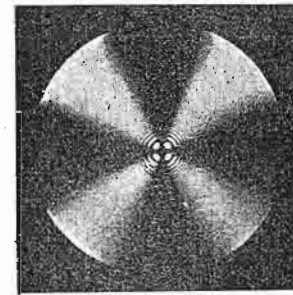


Sl. 709.

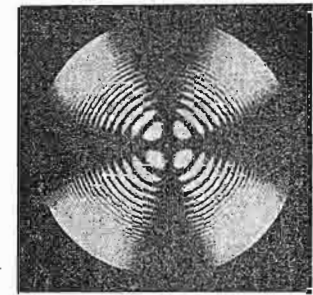
mikroskopski „sto“, putuje krak krsta paralelno titrajnoj ravnini nikola, dok ne izadje iz vidnog polja, a tad se pojavi drugi krak, koji opet putuje vidnim poljem paralelno titrajnoj ravnini nikola (sl. 709.).

Što je pločica minerala deblja ili što je dvolom jači, kraci su krsta tanji a kolobari užji, kako se to lijepo može motriti kod kalcita (sl. 710.), koji je velikoga dvoloma. Gdje je pločica ili mineral slaboga dvoloma, kraci su krsta oširoki, a oširoki su i bojadisani kolobari, te nešto udaljeniji jedan od drugoga (sl. 711.). Kod minerala slabog dvoloma, koji su brušeni, u vrlo tanku pločicu, bojadisani se kolobari uopće i ne vide; oni su negdje izvan vidnog polja u kom vidimo samo crni krst (sl. 712.).

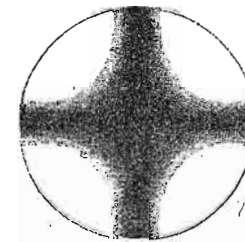
Ako se optički jednoosni mineral razvio u jasnim kristalima ili u nepravilnim individuima, na kojima se vide pravilne pukotine, koje su nastale kalanjem, možemo na takvim individuima odrediti u paralelnom polarizovanom svijetlu med unakrštenim nikolina njihovo paralelno pota-



Sl. 710.



Sl. 711.

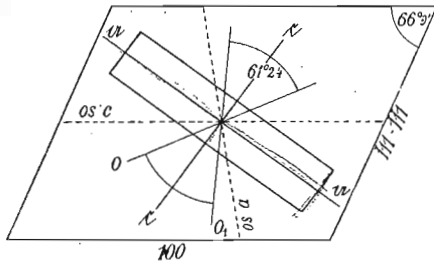


Sl. 712.

mnjenje. Pošto se titrajna ravnina ekstraordinarne zrake podudara sa glavnom osi, a titrajna ravnina ordinarne zrake stoji okomito na glavnoj osi, a sa glavnom se osi podudaraju i plohe prizme, moraju kristali biti tamni, kad se ploha prizme podudara sa titrajnom ravninom nikola. Ako se na mineralu razvila prizmatska ili bazna kalavost, a mineral se razvio u nepravil-

nom zrnju, možemo opet odrediti paralelno potamnjene; kad se pukotine od kalavosti podudaraju sa nikolima, mineral potamni. Ako je mineral posve nepravilnih kontura, a nema ni pravilnih pukotina od kalavosti, onda ne možemo znati, da li je potamnjene minerala paralelno ili koso.

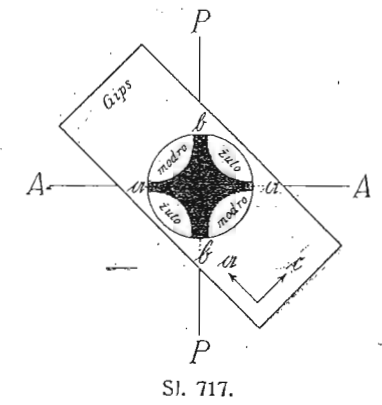
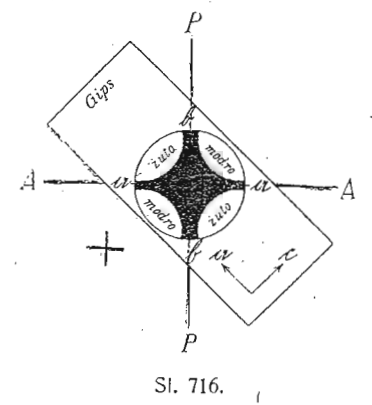
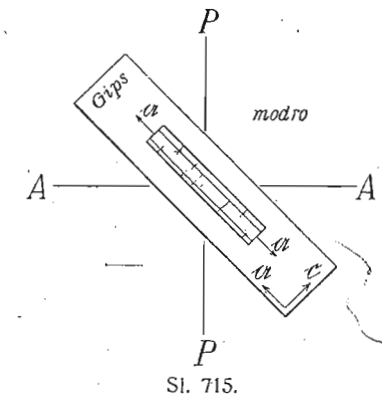
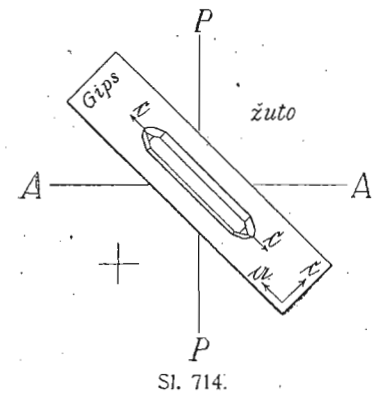
Kod individua, koji su se razvili u pravilnim kristalnim formama ili sa pukotinama od kalavosti, možemo u paralelnom polarizovanom svijetlu odrediti i optički karakter dvoloma, t. j. možemo saznati, da li je mineral optički pozitivan ili optički negativan. U tu svrhu služimo se listićem gipsa crvene boje I. reda, koji se priredi tako, da od kalavine posve bezbojna gipsa izrežemo tanušan listić, koji je okomit na optičku normalu. Prema tome nalaze se obje raspolovnice ili smjerovi najveće a i najmanje c brzine u ravni listića i to tako, da je smjer najveće brzine a paralelan sa duljim bridom (ivicom) listića, a smjer najmanje brzine c paralelan sa



Sl. 713.

kraćim bridom listića (sl. 713.). Listić je tako tanak, da zrake bijeloga svijetla, koje iz njega izlaze, interferiraju u crvenoj boji I. reda. Listić će biti taman, kad se njegove titrajne ravnine podudaraju sa titrajnim ravninama nikola, t. j. listić će potamniti paralelno, jer se i bridovi njegovi podudaraju sa njegovim titrajnim ravninama. U položaju kosom, t. j. kad njegove titrajne ravnine budu činile sa jednim i drugim nikolom neki kut (ugao), listić će interferirati u crvenoj boji I. reda; osvijetljenje će te boje biti najjače u dijagonalnom položaju, dakle u položaju, kad su titrajne ravnine listića i nikola zauzele položaj od 45°. Stavimo li u takav dijagonalan položaj koji jednoosan mineral, podudarati će se njegove titrajne ravnine sa titrajnim ravninama gipsova listića. Ako se u mineralu smjer najveće a i najmanje c brzine podudara sa smjerom najveće i najmanje brzine u gipsovom listiću, povećat će se „razlika u hodu“ između jedne i druge zrake u mineralu; mineral će se naime u takvom položaju ponašati kao da mu se uvećala jakost dvoloma, pa će interferirati u žiljoj boji (obično modroj), nego što bi interferirao u tom položaju, kad ne bi bilo povrhnjega gipsova listića (sl. 715.). Podudara li se u tom dijagonalnom položaju smjer najmanje brzine u mineralu sa smjerom najveće brzine u

353  
Ker se ne ponaša kao da suv deli, i ako se...  
gipsovom listiću, umanjit će se „razlika u hodu“ između jedne i druge zrake u mineralu; mineral će se u takvom položaju ponašati kao da mu se umanjila jakost dvoloma, pa će interferirati u slabijoj boji (obično žutoj), nego što bi interferirao u tom položaju, kad ne bi bilo povrhnjega gipsove pločice (sl. 714.). Kad bismo na pr. uzeli sitan kristal kremenca, kakovi obično dolaze u krečnjacima našega krša, mogli bismo na njem lako odrediti karakter dvoloma. Ti su kristalici prizmatskoga habita, t. j. produljili su se smjerom glavne osi c. Kako je to jednoosan mineral, titra smjerom glavne osi ekstraordinarna zraka. Ako od toga kristala priredimo prerez paralelan sa glavnom osi, te ga stavimo pod mikroskop među unakršteno nikole u dijagonalan položaj, pa sada metnemo gipsov listić crvene boje I. reda u isti taj položaj, interferirat će kremenici prerez u slabijoj boji (žutoj) negoli bez listića (sl. 714.). Zaključujemo dakle, da smjerom glavne



Mineralogija  
Ker se...  
23

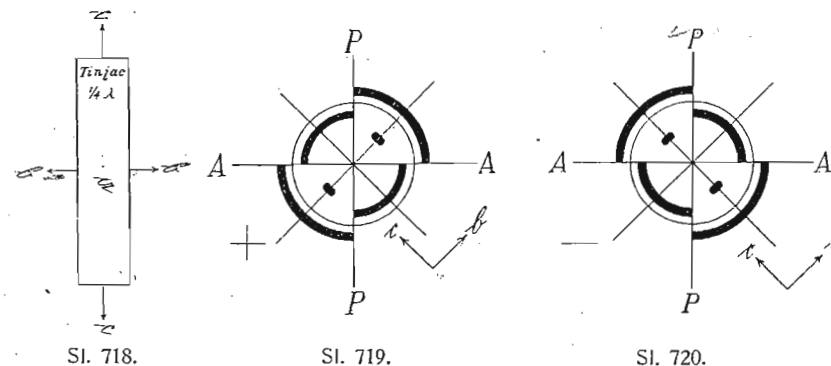


osi kremenita zračenja najmanjom brzinom ili da je ekstraordinarna zraka manje brzine od ordinarne, dakle da je eksponent ekstraordinarne zrake veći od eksponenta ordinarne zrake; prema tome je kremen optički pozitivan (83). Obavimo li isti pokus sa prizmatičkim kristalom apatita, koji je brušen paralelno sa glavnom osi, vidjet ćemo, da apatit u dijagonalnom položaju sa listićem gipsa crvene boje I. reda interferira u boji, koja je znatno življa (modra) negoli bez gipsova listića (sl. 715.). Zaključujemo, da smjerom glavne osi apatita titra zračenja najvećom brzinom ili da je ekstraordinarna zraka veće brzine od ordinarne zrake, dakle, da je eksponent ekstraordinarne zrake manji od eksponenta ordinarne zrake; prema tome je apatit optički negativan (83).

Pomoću gipsova listića crvene boje I. reda možemo odrediti karakter dvoloma i u konvergentnom svijetlu. Tu posmatramo, kako znamo, prereze, koji su okomiti na glavnu os. Oni daju med unakrštenim nikolima u bijelom svijetlu crni krst sa bojadisanim kolobarima. Ako u mikroskop stavimo listić gipsa u dijagonalan položaj, pojavit će se u smjeru gipsa u blizini središta crnoga krsta, u donjem desnom i gornjem lijevom kvadrantu crvenkasto žuta ili zeleno modra boja. Ako je mineral optički negativan, (sl. 717), bit će ta boja zeleno modra ili modra, dakle živa boja kao i kod istraživanja u paralelnom polarizovanom svijetlu. Ako je mineral optički pozitivan (sl. 716.), bit će ta boja crvenkasto žuta ili žuta; opet je boja, kao kod istraživanja u paralelnom svijetlu, slabija.

Kod istraživanja optičkoga karaktera dvoloma u konvergentnom polarizovanom svijetlu možemo mjesto listića gipsa crvene boje I. reda upotrijebiti listić tinjca (liskuna), koji priredjujemo ovako: listić tinjca, koji se kala smjerom osnovnoga pinakoida, izreže se u oduljenom smjeru poput listića gipsa. Kako gotovo okomito na osnovni pinakoid izlazi negativna raspolovnica, t. j. kako je smjer najveće brzine gotovo okomit na osnovni pinakoid, to u ravnini osnovnoga pinakoida leži optička normala i druga raspolovnica ili smjer srednje  $b$  i najmanje  $c$  brzine. Takav se listić tinjca izreže tako, da se sa smjerom duljega brida podudara smjer najmanje brzine  $c$ , a sa smjerom kraćega brida smjer srednje brzine  $b$ . Listić (sl. 718.) je tako tanuš, da „razlika u hodu“ izmedju obje slomljene zrake iznosi  $\frac{1}{4}\lambda$ . Zbog togazovemo ovako priredjeni listić *tinjcem (liskunom) od  $\frac{1}{4}$  undulacije*. Kad stavimo listić tinjca od  $\frac{1}{4}$  undulacije u mikroskop u dijagonalan položaj, rastavit će se prvi kolobar, što se nalazi oko crnoga krsta u četiri luka, koji se nalaze u četiri kvadranta; u jednom će se slučaju lukovi suziti u smjeru tinjčeva listića, dakle lukovi u donjem desnom i gornjem lijevom kvadrantu, dok će se lukovi u smjeru okomitom raširiti, dakle lukovi iz donjega lijevoga i gornjega desnoga kvadranta (sl. 719.); u drugom slučaju lukovi će se u smjeru tinjčeva listića raširiti, a u smjeru na to okomitom suziti (sl. 720.).

Gdje su se lukovi u smjeru tinjčeva listića suzili, pojavljuju se u smjeru okomitom na smjer tinjčeva listića dvije mrlje (sl. 719.). Te dvije mrlje pojavljuju se ondje, gdje je u mineralu, koji istražujemo, „razlika u hodu“



Sl. 718.

Sl. 719.

Sl. 720.

izmedju jedne i druge zrake  $\frac{1}{4}\lambda$ . Oni prerezi, koji pokazuju sa tinjčevim listićem suzivanje kolobara u smjeru tinjca i dvije mrlje okomite na smjer tinjca, jesu pozitivnoga dvoloma (sl. 719.), a oni koji pokazuju raširenje lukova u smjeru tinjca i dvije mrlje u istom smjeru, jesu negativnoga dvoloma (sl. 720.).

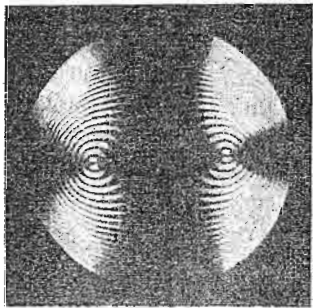
Tinjčev listić od  $\frac{1}{4}$  undulacije ne možemo upotrijebiti kod onih minerala, koji su maloga dvoloma, jer kod njih bojadisanani kolobari izlaze iz vidnoga polja, pa ne možemo vidjeti njihovo raspadanje u lukove, koji se suzuju i raširuju, a jednako tako ne možemo vidjeti ni one dvije mrlje, jer i one leže izvan vidnoga polja. U takvom slučaju moramo se poslužiti sa listićem gipsa crvene boje I. reda.

**91. Optički dvoosni minerali, rompski, monoklinski i triklinski, različito se vladaju u polarizovanom paralelnom i u polarizovanom konvergentnom svijetlu.** Dok se jednoosni minerali s obzirom na optička svojstva posve jednako vladaju tako, da ne možemo razlikovati tetragonski mineral od heksagonskoga po njihovim optičkim osobinama, dotle se dvoosni minerali daju razlikovati jedan od drugoga tako, da ćemo moći odrediti na osnovi optičkih svojstava, koji je mineral rompski, koji monoklinski, a koji triklinski. Istražujemo ih u paralelnom polarizovanom svijetlu i u konvergentnom polarizovanom svijetlu tako, da priredimo od njih orijentirane prereze, koji su ili okomiti na optičku os ili čine sa optičkom osi neki kut (ugao). Kako rompski, monoklinski i triklinski minerali imaju svaki svoja zasebna optička svojstva, upoznat ćemo se sa njima kod svakoga pojedinog sustava.

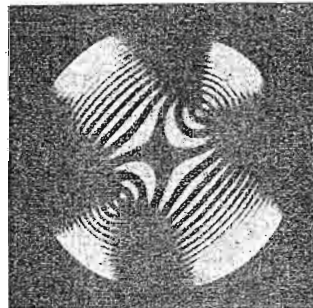
*Optička svojstva rompskih minerala.* Prerezi okomiti na optičku os, pošto se svjetlo u njima na sve strane jednakom brzinom širi, među unakrštenim su nikolima u paralelnom polarizovanom svjetlu uvijek tamno sivi, pa okretali pločicu minerala u njenoj ravnini pod kojim god kutom (uglom). Zrake polarizovanoga svjetla, koje dolazeći iz polarizatora padaju okomito na pločicu, ulaze u mineral u smjeru, koji je paralelan optičkoj osi, pa se u tom smjeru uopće ne lome; one izlaze iz minerala onakove, kakove su u nj ušle, t. j. sa istom titrajnom ravninom, koju su imale i u polarizatoru, a u tom ih titrajnom smjeru analizator ne propušta. Prerez dakle okomit na optičku os morao bi biti posve taman, ali on je kod optički dvoosnih minerala tamno siv poradi unutrašnje *konične refrakcije*. Ta unutrašnja konična refrakcija postaje kod optički dvoosnih minerala na taj način, da se u smjeru optičkih osi razvije konus zraka sa radijalnim titrajima; u tom konusu zraka ima dakle neograničen broj titrajnih smjerova, pa zrake, koje dolaze do analizatora sa tim radijalnim titrajnim smjerovima, ne budu poništene, nego ih analizator propusti. Eksperimentalno dokazao je koničnu refrakciju 1833. *H. Lloyd* na aragonitu, a da od nje potiče tamno sivo osvijetljenje prereza okomitih na optičku os, upozorio je 1885. *E. Kalkowsky*.

Kako se u rompskom sustavu tri glavna smjera brzine svjetla, najveći *a* srednji *b* i najmanji *c* podudaraju za sve valovne dužine sa kristalnim osima (84), to prerezi, koji nisu okomiti na optičku os, potamne paralelno četiri puta; prema tome će prerezi paralelni plohama prizme, dome i osnovnoga pinakoida biti tamni u položaju, koji je paralelan ili jednom ili drugom nikolu (sl. 706.); u svim drugim položajima ti će prerezi interferirati u izvjesnoj boji, koja će biti najintenzivnija u dijagonalnom položaju, jer tada titrajne ravnine u mineralu čine sa titrajnim ravninama nikola kut od  $45^\circ$ .

Za istraživanje rompskih minerala u konvergentnom polarizovanom



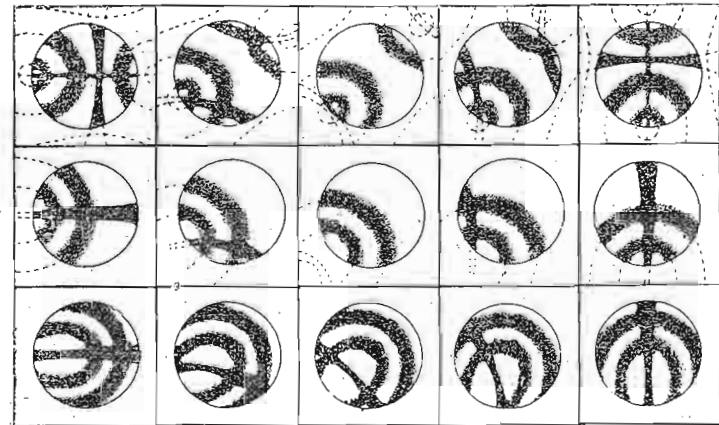
Sl. 721.



Sl. 722.

svijetlu moramo imati prereze okomite na oštru raspolovnicu (84). U tom slučaju interferenciona slika očitovat će se kao crni krst, komu će se sa svake strane nalaziti sistem bojadisanih kolobara (sl. 721.). Bojadisani kolobari okupljaju se oko središta, koje odgovara izlazu optičke osi. Što dalje od jednoga i drugoga izlaza optičkih osi, prelaze kolobari u krivulje (lemniskate)<sup>1)</sup>. Oba tamna kraka krsta odgovaraju titrajnim ravninama jednoga i drugoga nikola (sl. 721.), pošto se s tim titrajnim ravninama podudaraju titrajne ravnine u mineralu, kako je to i kod optički jednoosnih minerala; samo je jedan krak krsta kratak i širok, a drugi oduljen i tanak. Lemniskate su krivulje (sl. 722.), koje postaju interferencijom onih zraka, što su istih faza. Ako pločicu minerala stavimo u dijagonalan položaj, t. j. u položaj, gdje ravnina optičkih osi čini sa nikolima kut od  $45^\circ$ , kraci će se krsta pretvoriti u hiperbolu (sl. 722.). Hiperbola je u izlazu optičke osi tanušna, a prema krajevima oširoka. Udaljenost jednog ishodišta optičke osi od drugoga odgovara veličini kuta optičkih osi.

Ako je kut optičkih osi, što ga dobivamo mjerenjem u zraku (92), manji od  $120^\circ$ , vidjet ćemo u vidnom polju mikroskopa pomenutu sliku interferencije. Ako je taj kut veći, nalaze se izlazi optičkih osi, oko kojih se okupljaju kolobari, izvan vidnoga polja. Jednako se nalaze optičke osi izvan vidnoga polja, ako je prerez okomit na tupu raspolovnicu. Nije li prerez tačno okomit na oštru raspolovnicu, bit će interferenciona slika ekscentrična kao i kod optički jednoosnih minerala, samo kraci krsta ne



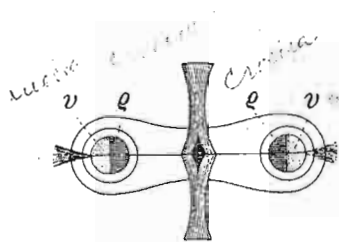
Sl. 723.

će putovati vidnim poljem paralelno sa titrajnom ravninom nikola, dakle kao ravna crta (90), nego će se pri okretanju preparata, pošto se razilaze

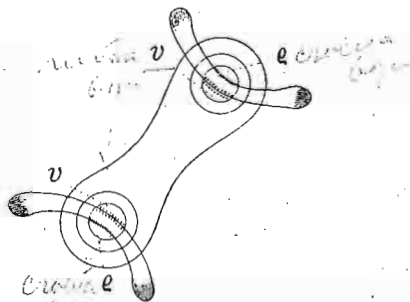
<sup>1)</sup> Od grč. *lemniskos* ovoj.

u hiperbole, iščezavati iz vidnoga polja u svinutoj formi (sl. 723.). O jakosti dvoloma zavisit će širina lemniskata; što je mineral većega dvoloma, lemniskate će biti uže (90). Razdioba je boja u interferencionoj slici rompskih minerala i u položaju dijagonalnom i u položaju krsta uvijek simetrijska.

Kut optičkih osi za svaku je boju drugi, pa ako posmatramo rompski mineral u prerezu okomitom na oštru raspolovnicu u bijelom konvergentnom svijetlu, doći će do disperzije optičkih osi; vidjet će se veličine kutova raznih boja. Kod rompskih minerala disperzija je optičkih osi *simetrijska*. Ta se simetrija očituje u tom, da optičke osi raznih boja leže sve u istoj ravnini i da svaka pojedina boja čini sa raspolovnicom s jedne i s druge strane



Sl. 724.



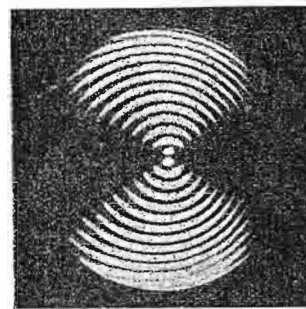
Sl. 725.

jednake kutove (sl. 724.). Ako je u dijagonalnom položaju (sl. 725.) na konkavnoj strani hiperbole crvena boja  $\rho$ , a na konveksnoj modra  $v$ , to optičke osi crvene boje čine manji kut od optičkih osi modre boje; takvu disperziju optičkih osi bilježimo ovim simbolom:  $\rho < v$ ; obrnuto, ako je crvena boja na konveksnoj strani hiperbole, a modra boja na konkavnoj, onda je kut optičkih osi za modru boju manji od kuta optičkih osi za crvenu boju; takvu disperziju optičkih osi bilježimo ovim simbolom:  $\rho > v$ .

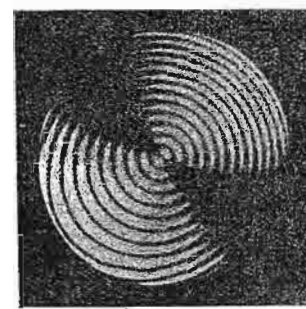
Priredimo li od rompskoga minerala pločicu, koja je okomita na optičku os, pa je posmatramo u konvergentnom svijetlu, interferencionu sliku bit će sastavljena od bojadisanih eliptičnih ili ovalnih kolobara, a preko njih se vuče crna pruga; crna pruga, koja leži u ravnini simetrije, u sredini je oštra i tanka, a prema krajevima mutna i široka (sl. 726.). U takim se prerezima dakle vidi samo jedna optička os sa eliptičnim ili ovalnim kolobarima. Pruga je onda ravna i prolazi sredinom vidnoga polja, kad se ravnina optičkih osi podudara sa titrajnom ravninom jednoga ili drugoga nikola. Ako iz tog položaja okrenemo pločicu u njenoj ravnini za  $45^\circ$ , okrenut će se i pruga, ali u protivnom smjeru i savit će se u hiperbolu (sl. 727.).

I u prerezima okomitim na optičku os možemo pomoću gipsova listića crvene boje I. reda odrediti karakter dvoloma. Treba preparat okre-

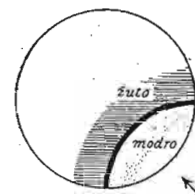
nuti u smjeru kazaljke na uri za  $45^\circ$  iz položaja, kada je tamna pruga paralelna sa titrajnom ravninom analizatora; tamna će se pruga saviti u zakrenutom položaju u hiperbolu. Ako stavimo povrh preparata gipsov listić, pojavit će se na konkavnoj i konveksnoj strani modra i žuta boja. Ako je žuta



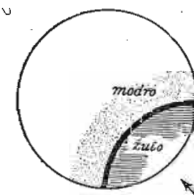
Sl. 726.



Sl. 727.



Sl. 728.



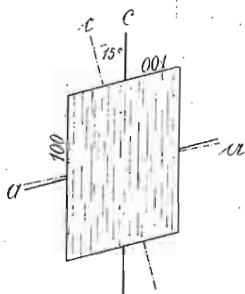
Sl. 729.

boja na konveksnoj strani, a modra na konkavnoj (sl. 728.), mineral je negativan; ako je razdioba boja obrnuta, t. j. ako je žuta boja na konkavnoj strani, a modra na konveksnoj (sl. 729.), mineral je pozitivan. Što je kut optičkih osi manji, tamna je pruga jače savinuta.

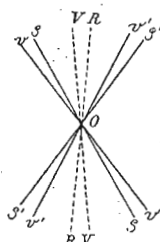
*Monoklinski minerali.* Prerezi okomiti na optičku os ponašaju se u paralelnom polarizovanom svijetlu kao jednaki prerezi rompskih minerala, t. j. med unakrštenim nikolima u svakom su položaju tamno sivi zbog konične refrakcije.

Kako se u monoklinskom sustavu podudara jedan od tri glavna smjera brzine samo sa ortoosi, dok sa glavnom osi i sa klinoosi oni čine neki kut (84), to će samo oni prerezi, koji su paralelni sa ortoosi, potamniti paralelno četiri puta; svi ostali prerezi, ako nisu okomiti na optičku os, potamne koso četiri puta. Ovo koso potamnjenje pokazuje, da se u

monoklinskom sustavu ne podudaraju glavni smjerovi brzine sa sve tri kristalne osi, kako je to kod rompskoga sustava. Kad god dakle bude ortoos paralelna sa jednim ili sa drugim nikolom, mineral će biti tamn, a kad bude klinoos ili glavna os paralelna sa jednim ili sa drugim nikolom, doći će do interferencije. Kut kosoga potamnjenja zavisit će o kutu, što ga čini jedan od glavnih smjerova sa glavnom osi  $c$  (sl. 730.).

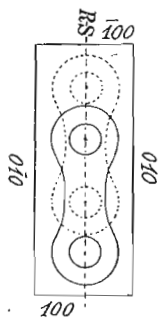


Sl. 730.

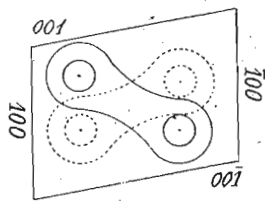


Sl. 731.

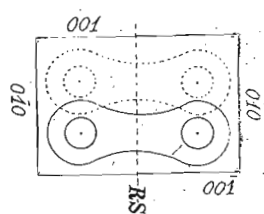
U konvergentnom svijetlu moramo imati jednake prereze monoklinskog a minerala kao i u rompskom sustavu, pa će i interferencione slike biti ojednake, t. j. prerezi okomiti na oštru raspolovnicu dat će krst sa lemniskatama, koje se okupljaju oko izlaza jedne i druge optičke osi. Disperzija je optičkih osi za razne boje drugačija od disperzije rompskih minerala. I kod monoklinske disperzije leže optičke osi svih boja u istoj ravnini, ali dok su te osi svih boja u rompskom mineralu imale istu raspolovnicu, ovdje osi svake pojedine boje imaju svoju zasebnu raspolovnicu; na taj način dolazi do t. zv. nagnute disperzije optičkih osi. Tako na pr. imamo u slici (731.) kut optičkih osi za crvenu boju  $\rho$ ; njega raspolavlja raspolovnica R; kut optičkih osi za modru boju  $\nu$  raspolavlja raspolovnica V; optičke su osi pojedinih boja medju sobom dakle nagnute. Nagnutu ćemo disperziju optičkih



Sl. 732.



Sl. 733.

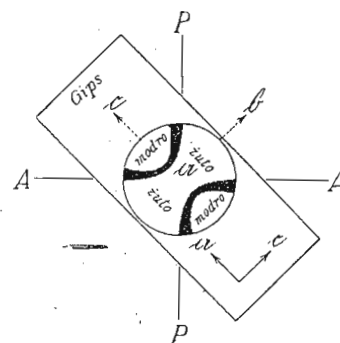


Sl. 734.

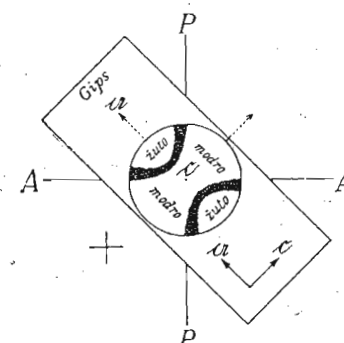
osi (sl. 732.) motriti na prerezima, gdje je ravnina optičkih osi paralelna ravnini simetrije ili gdje je ortoos optička normala. U prerezima, gdje je ortoos oštra raspolovnica, ravnine su optičkih osi za crvenu i modru boju unakrštena (sl. 733.); to je t. zv. unakrštena disperzija. U prerezima, gdje je ortoos tupa raspolovnica, dolazi do horizontalne disperzije (sl. 734.).

*Trikliniski minerali.* Prerezi okomiti na optičku os vladaju se u paralelnom polarizovanom svijetlu isto kao jednaki prerezi rompskih i monoklinskih minerala; oni su med unakrštenim nikolima tamno sivi. Svi ostali prerezi, koji nisu okomiti na optičku os, potamne koso, pošto se ni jedan od glavnih smjerova brzine ne podudara sa kristalnim osima (84). U konvergentnom svijetlu u prerezima okomitim na oštru raspolovnicu ili na optičku os interferenciona slika jednaka je interferencionoju slici rompskih i monoklinskih minerala, samo je disperzija optičkih osi za razne boje asimetrijska.

Pomoću gipsovoga listića crvene boje I. reda možemo i kod dvo-



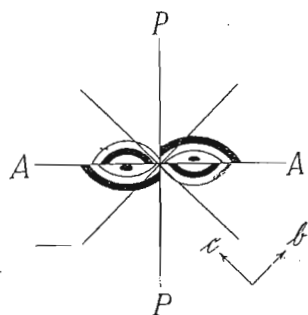
Sl. 735.



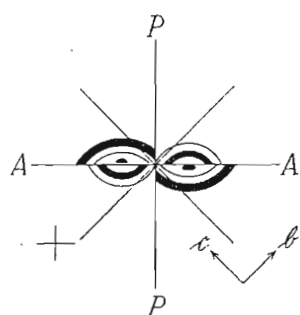
Sl. 736.

osnih minerala odrediti karakter dvoloma. Određujemo to u konvergentnom svijetlu, gdje možemo lako saznati, koja raspolovnica izlazi u vidnom polju. Ako je prerez okomit na negativnu raspolovnicu, t. j. ako je okomit na smjer najveće brzine  $a$ , vidi se u smjeru gipsova listića modra boja, koja se nalazi u donjem desnom i gornjem lijevom kvadrantu (sl. 735.); takav je mineral optički negativan, na pr. bazni listići tinjca. Ako je u smjeru gipsova listića žuta boja (sl. 736.), imamo prerez okomit na pozitivnu raspolovnicu ili na smjer najmanje brzine  $c$ ; mineral je takav pozitivan, na pr. pločica gipsa, koja je paralelna sa (100). Gipsov listić nam uopće služi da u mineralu nadjemo položaj obih raspolovnica i optičke normale.

Ako mjesto gipsova listića upotrebimo listić tinjca od  $\frac{1}{4}$  undulacije, kod pozitivnoga će, se minerala raspasti hiperbole na način, kako pokazuje sl. 738. a kod negativnoga na način, kako pokazuje sl. 737.

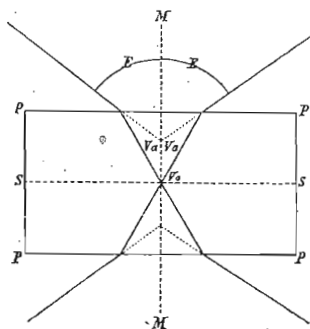


Sl. 737.



Sl. 738.

92. Za tačno upoznavanje dvoosnih minerala potrebno je odrediti i veličinu kuta (ugla) optičkih osi. U prerezima okomitim na oštru raspolovnicu vidi se u konvergentnom polarizovanom svijetlu, kako smo malo čas čuli, interferenciona slika, koja je sastavljena od crna krsta i bojadisanih lemniskata. Sa svake strane širega kraka krsta jest izlaz optičke osi, oko koje se kupe bojadisani kolobari. U dijagonalnom položaju razilazi se krst u hiperbole; udaljenost jednog izlaza optičke osi do drugoga odgovara veličini kuta optičkih osi. Kadikad se ta veličina kuta da odrediti u mi-



Sl. 739.

kroskopu, ako je kut optičkih osi, što ga vidimo u zraku, manji od  $120^\circ$ . Ako je kut optičkih osi u zraku veći od  $120^\circ$ , izilazi iz vidnoga polja i ne možemo ga odrediti pomoću mikroskopa, pa moramo posegnuti za

posebnim polarizacionim aparatima, na kojima ćemo taj kut odrediti. Takvi polarizacioni aparati udešeni su tako, da iz polarizatora ulazi u mineralnu pločicu konvergentno svijetlo (sl. 705.).

Odredjivanje kuta optičkih osi vrši se u monohromatskom svijetlu, jer je veličina kuta za razne boje različita. Veličina kuta, što ga vidimo u konvergentnom svijetlu, nije zbiljska nego prividna, kako to možemo razabrati iz slike 739. :

Pločica P prikazuje prerez minerala okomit na oštru raspolovnicu M. Zrake, koje titraju u mineralu smjerom jedne i druge optičke osi, čine zbiljski kut, koji označujemo sa V ili 2V (po *Des Cloizeaux-u* V od l'angle véritable, zbiljski kut). Kad zrake izadju iz minerala, ulaze iz gušćega tijela u rjedje, pa se lome od okomice, i prema tome vidimo kut optičkih osi nešto veći nego li je u istinu; taj kut u zraku, prividni kut, označujemo po *Des Cloizeaux-u* sa 2E ili E (E od l'angle évidente, prividni kut); dakle je uvijek  $2E > 2V$ . Možemo optički kut označiti i sa V ili sa E; dakako da je to onda samo polovica kuta optičkih osiju, koga rasplavlja raspolovnica. Ako odredjujemo oštri kut optičkih osiju, dakle ako imamo prezeze okomite na oštru raspolovnicu, bilježimo taj kut po *Des Cloizeaux-u* 2V<sub>a</sub> (a od la bissectrice aigue, oštra raspolovnica); je li prerez okomit na tupu raspolovnicu S, vidimo u vidnom polju kut optičkih osi, što ga rasplavlja tupa raspolovnica, pa taj kut bilježimo po *Des Cloizeaux-u* 2V<sub>o</sub> (o od la bissectrice obtuse, tupa raspolovnica). Poznajemo li srednji eksponent loma  $\beta$  minerala, možemo iz njegovoga prividnoga kuta E izračunati zbiljski kut V po formuli:  $\sin V_a = \frac{1}{\beta} \sin E_a$ .

Za odredjivanje kuta optičkih osi u zraku E udešen je refleksi goniometar (sl. 54.), gdje se dio goniometra, koji je pričvršćen na limbusu te služi za centriranje i justiranje kristala (18), stavi ispod limbusa. Na držak P pričvrsti se listić minerala, koji tako dodje u položaj izmedju analizatora A<sub>1</sub> i polarizatora A.

Kako zrake svijetla, što prolaze u smjeru optičkih osi, izlaze iz minerala u uzduh, dakle iz gušćega tijela u rjedje, lome se od okomice, pa je kut E veći od kuta V. Može se dogoditi, da kut V postigne ili prekorači veličinu kuta totalne refleksije; u tom će se slučaju zrake, koje prolaze smjerom optičkih osi totalno reflektirati, t. j. u vidnom polju uopće ne ćemo vidjeti interferencione slike. Da tu sliku ipak vidimo i tako odredimo kut optičkih osi, moramo na neki način zapriječiti, da dodje do totalne refleksije. Možemo to postići tako, da pustimo zrake, koje izlaze iz minerala u smjeru optičkih osi, u tijelo, koje je optički gušće od uzduha, na pr. da te zrake ulaze mjesto u uzduh u ulje ili u koju drugu optički gušću tekućinu. Ulje se nalazi u prozirnoj staklenoj posudici, koja se metne u aparat za odredjivanje kuta optičkih osi; mineralna se pločica metne zgodno u

ulje. Na taj način dobit ćemo opet prividni kut, ali taj će biti manji od prividnoga kuta u uzduhu E. Prividni kut u ulju označujemo sa  $2H_a$  ili  $2H_o$  (H od huile, ulje) ili samo  $H_a$  ili  $H_o$ . U ulju se daje odrediti i kut optičkih osi u prerezima na tupu raspolovnicu  $H_o$ , koji se u zraku većinom ne da odrediti, jer je  $V_o$  toliki, da dolazi pri izlazu zraka u uzduh do totalne refleksije.

Za određivanje vrlo tupog kuta optičkih osi služi polarizacioni aparat od *Adamsa* i *Schneidera*, gdje se daje odrediti i jako tupi kut optičkih osi; mineral se meće između dvije polukuglaste staklene leće, koje imaju dosta veliki lom svijetla tako, da se u tim aparatima određuje kut u staklu a ne u ulju.

Poznajemo li eksponent  $n$  ulja (stakla) i srednji eksponent  $\beta$  minerala, možemo izračunati zbiljski kut  $V$  iz prividnoga kuta  $H$  po formuli  $\sin V_a = \frac{n}{\beta} \sin H_a$ . Brusimo li mineral u dvije pločice tako, da je jedna pločica okomita na oštru, a druga na tupu raspolovnicu, te na taj način odredimo i  $H_a$  i  $H_o$ , možemo iz tih podataka izračunati  $V$  bez poznavanja srednjega eksponenta  $\beta$  minerala po formuli  $\operatorname{tg} V_a = \frac{\sin H_a}{\sin H_o}$ ; pomoću te formule daje se izračunati vrijednost za  $\beta$ , jer po formuli  $\sin V_a = \frac{1}{\beta} \sin E_a$  jest  $\sin V_a = \frac{\sin E_a}{\beta}$  ili  $\beta = \frac{\sin E_a}{\sin V_a}$ , gdje  $E_a$  odredimo mjerenjem, a  $V_a$  izračunamo iz formule  $\operatorname{tg} V_a = \frac{\sin H_a}{\sin H_o}$ .

Kut optičkih osi možemo naći, da ga uopće i ne mjerimo; ali u tom slučaju moramo poznavati sva tri eksponenta loma,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , pa ćemo izračunati kut optičkih osi po formuli:

$$\operatorname{tg} V = \sqrt{\frac{1 - \frac{1}{\alpha^2}}{1 - \frac{1}{\beta^2}}} \quad \text{ili} \quad \operatorname{tg} V = \frac{\gamma}{\alpha} \sqrt{\frac{\alpha + \beta}{\beta + \gamma} \cdot \frac{\beta - \alpha}{\gamma - \beta}}$$

**93. Neki minerali zakreću ravninu polarizacije na desno ili na lijevo.** Čuli smo, da jednolomni minerali ostaju među unakrštenim nikolima u paralelnom polarizovanom svijetlu uvijek tamni; tamni ostaju među unakrštenim nikolima u paralelnom polarizovanom svijetlu i optički jednoosni minerali, ako su im prerezi okomiti na optičku os; a i optički dvoosni minerali u prerezima okomitim na optičku os među unakrštenim nikolima tamno sivi su u svakom položaju, ako ih posmatramo u paralelnom polarizovanom svijetlu. Od te osobine odstupaju neki jednolomni i dvolomni minerali i to oni, koji su građeni tako, da nemaju ni ravnine ni centra simetrije, nego samo osi simetrije; dakle enantiomorfni minerali (33). Tako natrijski klorat (kemijski spoj priredjen vještačkim putem u laboratoriju),

koji se kristalizuje u teseralnom sustavu i to u tetartoedrijskoj klasi, nije među unakrštenim nikolima posmatran u paralelnom polarizovanom svijetlu taman, nego osvijetljen. Tu će istu pojavu pokazati i dvolomni enantiomorfni minerali u prerezima, koji su okomiti na optičku os. Kad bismo priredili od kremenca, koji je enantiomorfan, te se kristalizuje u trapezoedrijskoj tetartoedriji, pločicu tanku 1 mm, a brušena je okomito na optičku os, ne bismo u bijelom paralelnom polarizovanom svijetlu vidjeli pomračenje nego osvijetljenje, pa pri okretanju kremenove pločice u njenoj ravnini bila bi ona osvijetljena u svakom položaju. Ako tu pločicu posmatramo u monohromatskom svijetlu, na pr. u žutom, natrijskom svijetlu, ona će opet biti među unakrštenim nikolima osvijetljena; ali ako zakrenemo gornji nikol, koji se postavi povrh okulara, za  $22^\circ$ , ona će pomračiti. Kad bi pločica bila debela 2 mm, morali bismo nikol zakrenuti za  $44^\circ$ , da bude pomračena.

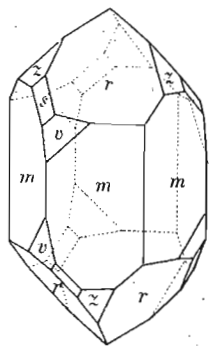
Uzrok je toj pojavi u cirkularnoj (kružnoj) polarizaciji svijetla (68). Polarizovana zraka, koja je ušla u enantiomorfan mineral sa linearnim titrajima, rastavila se u dvije zrake (kod minerala, koji nisu enantiomorfni, smjerom optičke osi nema uopće dvoloma); obje zrake ne izvode titraje u pravcu nego u krugu i to tako, da titraji jedne zrake titraju u krugu u smjeru kazaljke na uri, a titraji druge zrake u krugu u smjeru protivnom od kazaljke na uri; obje su zrake cirkularno polarizovane; u mineralu je došlo do cirkularne polarizacije. Objе cirkularno polarizovane zrake šire se u mineralu različitom brzinom, te izlaze iz minerala jedna za drugom sa nekim zakašnjenjem; što je pločica minerala deblja, zaostaje jedna zraka za drugom jače. Kako su izašle iz minerala, spajaju se njihovi titraji u jedan zajednički titraj, koji ne titra više cirkularno nego linearno, ali u drugom smjeru od onog, s kojim je ušao u mineral (sl. 740.); cirkularno polarizovane zrake izašavši iz minerala, zakreću ravninu polarizacije na desno ili na lijevo. Ako su titraji u smjeru kazaljke na uri veće brzine od



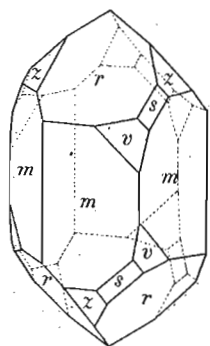
Sl. 740.

titraja u smjeru na lijevo, mineral će zakrenuti ravninu polarizacije na desno; ako su titraji u smjeru na lijevo veće brzine od titraja u smjeru na desno, zakreće mineral ravninu polarizacije na lijevo. Zato imamo cirkularno polarizovanih minerala desnih i lijevih, na pr. desni i lijevi kremen. To optičko svojstvo u potpunom je skladu i sa kristalografskim svojstvima minerala; kristalografski desni kremen (sl. 742.) i optički je desni, i obrnuto: kristalografski lijevi kremen (sl. 741.) jest i optički lijevi.

Cirkularnu je polarizaciju otkrio na kremenu fizik *Arago* (1811.), a na rumenici mineralog *Des Cloizeaux*. Fizik *Biot* dokazao je, da je zakretanje ravnine polarizacije proporcionalno debljini pločice, a *Herschel*, da



Sl. 741.

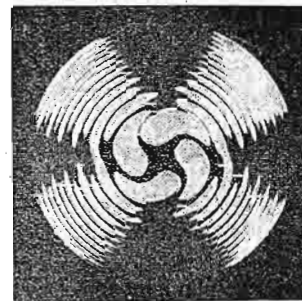


Sl. 742.

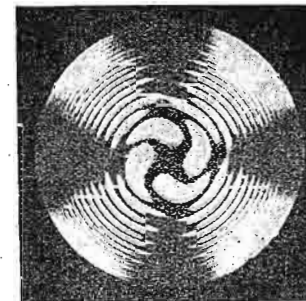
je zakretanje ravnine polarizacije zavisno o kristalografskim svojstvima, t. j. da kristalografski desni kremen zakreće ravninu polarizacije na desno, lijevi na lijevo. *Fresnel* je pokazao (1817.), da zraka, koja u cirkularno polarizovanim mineralima prolazi paralelno sa optičkom osi, ne ostaje nepromijenjena, kako je to redovito kod optički jednoosnih i dvoosnih minerala, nego da se cijepa u dvije zrake, koje izvođe titraje u krugu svaka u protivnom smjeru tako, da ordinarna i ekstraordinarna zraka pokazuju u neposrednoj blizini optičke osi cirkularnu polarizaciju. Po *Langovim* istraživanjima obje zrake, što prolaze u smjeru optičke osi, nemaju istu brzinu, nemaju dakle ni isti eksponent loma. Ove neobične pojave svijetla u enantiomorfnim mineralima smjerom optičke osi vrše se samo u neposrednoj blizini optičke osi, pa i one zrake, koje prolaze nešto malo koso, najviše pod kutom od  $15^\circ$ , prelaze takodjer u cirkularno polarizovane zrake; sve ostale zrake, koje prolaze u smjerovima, koji su veći od  $15^\circ$  spram optičke osi, titraju kao u svakom drugom mineralu, t. j. linearno.

Ako posmatramo kremenu pločicu debelu 1 mm u prerezu okomitom na optičku os u konvergentnom polarizovanom svijetlu, ne će sredina krsta vidnoga polja biti tamna nego u izvjesnoj boji osvijetljena. Okrenemo li analizator na desno ili na lijevo, mijenja se boja u središtu krsta ili vidnoga polja, a bojadisani kolobari dijele se pri tom u četiri luka. Je li pločica priredjena od desnoga kremen, to se pri okretanju analizatora na desno (u smjeru kazaljke na uri) mijenja boja sredine krsta (vidnog polja) od crvene preko žute, modre na ljubičastu boju, a kolobari se raširuju; ako li je pločica priredjena od lijevoga kremen, mijenjaju se boje pri jednakom zakretanju analizatora od ljubičaste preko modre i žute na crvenu boju, a ko-

lobari se suzuju. Prema tome desni kristali zaokreću ravninu polarizacije na desno, lijevi na lijevo. Metnemo li dvije pločice kremen (ili kojega drugoga enantiomorfnoga minerala) jednake debljine, ali različitoga zakretanja jednu povrh druge, na pr. desnu povrh lijeve ili lijevu povrh desne, rastavit će se interferenciona slika, koja je bila sastavljena od bojadisanoga središta i bojadisanih kolobara, u bojadisane spirale, koje zovemo po njihovu obretniku *Airy-u Airyevim spiralama* (sl. 743., 744.).



Sl. 743.



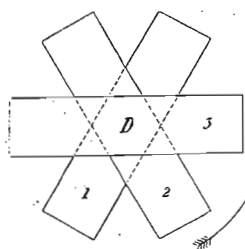
Sl. 744.

Želimo li saznati, koji je kremen desni, koji lijevi, a imamo prerez okomit na optičku os u konvergentnom polarizovanom svijetlu, treba samo između pločice minerala i analizatora staviti listić tinjca od  $\frac{1}{4}$  undulacije u dijagonalan položaj; u tom će se slučaju rastaviti kolobari u spirale, koje se od središta zakreću na desno, ako je kremen desni, ili na lijevo, ako je kremen lijevi.

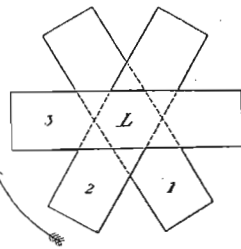
Kazali smo, da je zakretanje ravnine polarizacije proporcionalno debljini pločice; ali ono zavisi i o boji. Boje velikih valovnih dužina zakreću ravninu polarizacije slabije od boja manjih valovnih dužina. Tako na pr. pločica kremen debela 1 mm zakreću ravninu polarizacije u crvenom svijetlu za  $19^\circ$ , u žutom za  $22^\circ$ , u zelenom za  $27^\circ$ , u modrom za  $32^\circ$ , u ljubičastom za  $44^\circ$ .

U običnim izbruscima ne ćemo vidjeti, na pr. na kremenu, cirkularne polarizacije, jer preparat nije dovoljno debeo. Cirkularna se polarizacija javlja tek u pločicama, kojima debljina prekoračuje 0,35 mm, a izbrusci su tanki tek kojih 0,02—0,05 mm. Zato se prerezi kremen okomiti na optičku os, a tanji od 0,35 mm vladaju u paralelnom polarizovanom svijetlu posve normalno, t. j. oni su med unakrštenim nikolima tamni; u konvergentnom polarizovanom svijetlu tanki prerezi kremen takodjer se ponašaju normalno; pokazuju crni krst i crni centar krsta sa bojadisanim kolobarima.

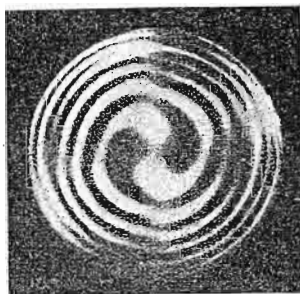
Cirkularnu polarizaciju možemo dobiti i kod onih minerala, koji po svojoj prirodi nisu cirkularno polarizovani; to je vještačko stvaranje cirkularne polarizacije, koje potiče od *Reuscha*. Reusch je uzeo 12—36 listića dvoosnoga tinjca (liskuna), koji su bili gotovo svi jednako tanušni, i metnuo ih je jedan povrh drugoga tako, da su ravnine optičkih osiju svakoga listića bile medju sobom zaokrenute za  $120^\circ$ ; ako su tanušni listići



Sl. 745.



Sl. 746.



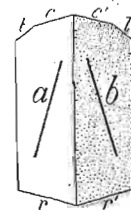
Sl. 747.

tinjca bili tako poslagani jedan povrh drugoga, da su njihove ravnine optičkih osi bile zakrenute jedna od druge za  $120^\circ$  u smjeru na desno (sl. 745.), zakretali su tako poslagani listići ravninu polarizacije one zrake, koja je na njih došla okomito, na desno; ako su ravnine optičkih osi bile zakrenute medjusobno za  $120^\circ$  na lijevo (sl. 746.), zakretala je kombinacija tinjčevih listića ravninu polarizacije na lijevo.<sup>1)</sup> Slika 747. prikazuje Airy-ve spirale od lijevokretne kombinacije tinjčevih listića pomoću pločice tinjca od  $\frac{1}{4}$  undulacije.

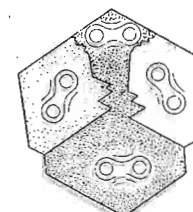
**94. Posmatrajući anizotropne minerale medju unakrštenim nikolima u paralelnom polarizovanom svijetlu možemo lako raspoznati zasebne individue od sraslaca.** Svaki anizotropan mineral ima titrajne ravnine, u kojima titraju zrake najvećom i najmanjom brzinom (jednoosni minerali) ili najvećom, srednjom i najmanjom brzinom (dvoosni minerali). Kad su te titrajne ravnine paralelne sa polarizatorom, mineral je med unakrštenim nikolima u paralelnom polarizovanom svijetlu taman. Kod sraslaca, gdje su se srasli dva ili više individua tako, da su zauzeli jedan spram drugoga protivan položaj, ili da su se jedan spram drugoga zaokrenuli za  $180^\circ$ , ili da su se srasli zauzevši simetrijski položaj spram neke kristalne plohe (47), došli su srašteni individui u takav položaj, da su i njihove titrajne ravnine medjusobno različito položene, pa će dakako med unakrštenim nikolima u paralelnom polarizovanom svijetlu pokazati srašteni

<sup>1)</sup> M. Berek: Ueber Zirkularpolarisation. Fortschritte der Mineralogie, Kristallographie und Petrographie. Bd. IV. pag. 73.

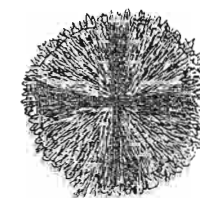
individui različito pomračenje; kad je jedan individuum osvjetljen, bit će drugi pomračen. Srašteni individui bit će simetrijski pomračeni, t. j. jedan će na jednu, drugi na drugu stranu pomračiti pod istim kutom, kad su prerezi okomiti na sraslačku ravninu. Ako na pr. priredimo od amfibolova kristala prerez okomit na sraslačku ravninu (100), a paralelan sa plohom (010), ne će taj prerez jednolično potamniti, nego ćemo med unakrštenim nikolima vidjeti, da je sastavljen od dvije polovice, od dva individua; jedan individuum potamni pri zakretaju na desno u pravcu *a* (u tom je slučaju drugi individuum osvjetljen), drugi pri zakretaju na lijevo u pravcu *b* (sl. 748.). Ako prerez nije okomit na sraslačku ravninu, pomračenje je asimetrijsko; jedan individuum potamni pri zakretaju na jednu stranu pod izvjesnim kutom, drugi pri zakretaju na drugu stranu pod nekim drugim kutom. Kod polisintetskih sraslaca (49) potamne u isti čas pri zakretaju na jednu stranu parni individui (u tom su slučaju neparni individui osvjetljeni), pri zakretaju na drugu stranu neparni individui (u tom su slučaju parni individui osvjetljeni), na pr. polisintetski sraslaci albita u prerezu okomitom na plohu (010); ta je ploha ujedno i sraslačka ravnina.



Sl. 748.



Sl. 749.



Sl. 750.

I polisintetski će individui potamniti simetrijski, ako je njihov prerez okomit na sraslačku ravninu. Gdje su se polisintetski sraslaci srasli po dva sraslačka zakona (46), na pr. polisintetski sraslaci kod plagioklasa po albitnom i periklinskom zakonu, vide se med unakrštenim nikolima sraslačke lamele jednoga i drugoga zakona, kako potamne u raznim položajima (sl. 499.). Kod mnogostrukih sraslaca (49) vide se sraslački individui med unakrštenim nikolima u raznim interferencionim bojama, na pr. sraslaci aragonita (sl. 749.). Jednako će se tako otkriti sraslačka priroda mimetskih sraslaca (50), ako njihove prereze motrimo medju unakrštenim nikolima u paralelnom polarizovanom svijetlu; tu će takodjer jedne lamele u izvjesnom položaju biti osvjetljene, a druge pomračene (sl. 523., 524.). Sraslaci dakle potamne med unakrštenim nikolima nejednolično.

Ali nejednolično potamne i kristalasti agregati, ako su sastavljeni od individua anizotropnoga minerala. Ako su u agregatima individui medju sobom bez ikakova reda izmiješani, svaki će od njih različito interferirati



med unakrštenim nikolima u paralelnom polarizovanom svijetlu; neki će biti tamni, neki u raznim bojama osvijetljeni pa će svi zajedno stvarati t. zv. *agregatnu polarizaciju*. Gdje su individui radijalno oko nekoga centra poredjani, pokazat će med unakrštenim nikolima u paralelnom polarizovanom svijetlu krst, ako su samo radijalni individui paralelnoga pomračenja (sl. 750.); takav krst daju neki radijalno gradjeni kalcedoni i kloriti. Okretali pločicu radijalnoga agregata u njenoj ravnini pod kojim god kutom, uvijek će jedan dio od radijalnih individua doći u paralelan položaj sa polarizatorom; ti će individui biti u tom položaju tamni. Ako su radialni individui kosoga potamnjenja, opet će se med unakrštenim nikolima u paralelnom polarizovanom svijetlu pokazati krst, samo će njegovi kraci biti nešto nagnuti prema produljenju radijalnih individua.

**95. Kod nekih minerala možemo kadikad zapaziti da su optički anomalni.** Istražujući minerale optički, naročito med unakrštenim nikolima, pokazuju oni kadikad neke pojave, koje nisu u skladu sa stupnjem simetrije njihovih kristala. Tako ima nekih teseralnih minerala, na pr. kamena so, dijamant, granat, alaun, analcim, koji pokazuju izraziti dvolom i polarizaciju. Neki tetragonski i heksagonski minerali pokazuju smjerom optičke osi dvolom, pa se vladaju kao dvoosni minerali, na pr. vezuvijan, apofilit, melit, apatit, beril. Rompski minerali pokazuju kadikad optičke anomalije u toliko, što im glavni smjerovi brzina nisu paralelni sa kristalnim osima. Optičke anomalije tiču se samo pojedinih mineralnih individua, a ne čitave mineralne vrste: na pr. granati sa nekih nalazišta jesu anomalni, dok granati sa drugih nalazišta pokazuju normalna optička svojstva.

Uzrok tim anomalnim optičkim pojavama leži u izvanjim uticajima, a ne u prirodi samoga minerala; to je jasno već i zbog toga, što se te anomalije pojavljuju samo na nekim mineralnim individuima iste mineralne vrste. Često su optičke anomalije izazvate djelovanjem *tlaka*, kako je to dokazao mineralog *Brewster*. Kocka kamene soli može postati dvolomna uz vrlo neznan tlak, na pr. ako je prstima stisnemo. Dvolom traje tako dugo, dok i taj mali tlak. Ali ako je tlak velik, na pr. ako smo kocku kamene soli stavili pod tiskalo pa je jako tiskali, ostaje ona trajno dvolomna. Smjer tlaka kod kocke od kamene soli postaje uvijek i smjer najveće brzine. Ako tlačimo kocku silvina u smjeru okomitom na plohu kocke, postat će silvin dvoloman; u smjeru tlaka bit će smjer najmanje brzine. I fluorit će postati dvoloman, kad ga tlačimo; djeluje li tlak u smjeru okomitom na plohu oktaedra, bit će smjer najmanje brzine paralelan smjeru tlaka.

Neki tetragonski i heksagonski kristali postat će dvoosni, ako na njih djelujemo tlakom u smjeru, koji je okomit na optičku os. Pri tom će pozitivni kristali ostati pozitivni, a negativni kristali negativni; t.j. ravnina optičkih osi bude uvijek paralelna ili okomita na smjer tlaka. Tlačimo li na primjer kremen, koji je optički pozitivan, u smjeru okomitom na opti-

čku os, postat će dvoosan, a ravnina optičkih osi bit će paralelna smjeru tlaka. Turmalin ili apatit, koji su optički negativni, postat će uz tlak, ako mu je smjer okomit na optičku os, dvoosni, a ravnina optičkih osi bit će okomita na smjer tlaka. Kod optički dvoosnih minerala, ako su negativni, postaje kut optičkih osi djelovanjem tlaka veći, ako se tlak vrši u smjeru okomitom na ravninu optičkih osi; ako se tlak vrši u smjeru paralelnom ravnini optičkih osi, postaje kut optičkih osi manji. Kod optički dvoosnih minerala, koji su pozitivni, pojave su obrnute. Prema tome, ako neki dvoosni mineral ima mali kut optičkih osi, može postati za izvjesnu boju jednoosan.

Neki izotropni minerali postaju optički anizotropni, ako ih ugrijemo, pa onda naglo ohladimo; pri tom dolazi u mineralima do *unutrašnje napetosti*, koja uzrokuje optičke anomalije. Kristali kamene soli i fluorita postaju tako dvolomni, kad ih ugrijemo i naglo ohladimo. Negdje se unutrašnja napetost može izazvati, kad neku tvar sušimo. Tako mnoge koloidne tvari pokazuju jaki dvolom zbog unutrašnje napetosti, koja je postala pri sušenju tih tvari, na pr. opal, kremenca čjedina, fosilne smole. Do unutarnje napetosti, koja onda izaziva tlak, a tlak optičke anomalije, može doći i zbog izomorfnih primjesina (111), gdje pojedine izomorfne komponente ne prelaze u isto vrijeme u stanje krutosti. Zato su na pr. čisti kristali alauna izotropni, a oni, koji su sastavljeni od izomorfne smjese, dvolomni, na pr. čisti kalijski alaun i čisti amonijski alaun potpuno su izotropni, jednolomni, a njihove izomorfne smjese anizotropne, dvolomne.

Negdje su optičkim anomalijama uzrok t. zv. prirasle piramide (56), koje svojim rastenjem izazivaju u nutrini kristala izvjestan tlak, u čijem domašaju dolazi onda do optičkih anomalija. Takvi kristali izgledaju optički nehomogeni, kao da su izgradjeni od raznih dijelova. Kad od njih priredimo izbrusak, tanušnu pločicu, pokazuje ona, ako je od izotropnoga minerala, razna polja ili sektore, koji su razno položeni, pa zato i razno osvijetljeni. Takova razno osvijetljena polja ili sektore pokazuje medju unakrštenim nikolima u paralelnom polarizovanom svijetlu analcim, koji se kristalizuje teseralno. Dvolomna polja iščeznu i mineral postane jednolično izotropan, dakle med unakrštenim nikolima taman, ako ga neko vrijeme držimo u vodenim parama. Po tome zaključujemo, da je analcim postao gubitkom vode anizotropan, a kad opet primi vodu, on je izotropan. Zato su svježi analcimi uvijek jednolomni, a oni, koji su izgubili vodu, dvolomni. Gubitkom vode dolazi naime u mineralu do unutrašnje napetosti, a ona izaziva, kako smo već kazali, dvolom.<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> R. Brauns: Die optischen Anomalien der Krystalle, Leipzig 1891.

### Termička svojstva minerala.

Termička svojstva minerala, u koliko se odnose na rasprostiranje i vodjenje topline u mineralima, pa na rastezanje minerala djelovanjem topline, potpuno su analogna optičkim svojstvima minerala. Pa kao što smo govorili o optički izotropnim i optički anizotropnim mineralima, tako govorimo o termički izotropnim i termički anizotropnim mineralima; jednako tako govorimo o termički jednoosnim i termički dvoosnim mineralima, pa o termički jednolomnim i termički dvolomnim mineralima. Kao što mineral zrake svijetla djelomice reflektira, djelomice apsorbira, djelomice propušta, tako on djelomice reflektira, djelomice apsorbira, djelomice propušta i zrake topline. Pri dvolomu je svijetlo postalo linearno ili cirkularno polarizovano, pa tako isto i pri dvolomu toplinskih zraka dolazi do linearne i cirkularne polarizacije; kako zrake svijetla mogu interferirati; mogu tako da interferiraju i zrake topline i t. d.

**96. Minerali različito apsorbiraju zrake topline.** Od mnogih termičkih osobina minerala zadržat ćemo se kod apsorpcije toplinskih zraka, pošto se ta osobina da najlakše zapaziti. Kad toplinske zrake dodju do minerala, jedan će se dio njihov odraziti, jedan će proći kroz mineral, a jedan će dio mineral zadržati (apsorbirati). Ima minerala, koji gotovo posvema propuštaju zrake topline; takve minerale zovemo *dijatermanskima*.<sup>1)</sup> Jedan od najdijatermanskijih minerala jest kamena so. Minerale, koji ne propuštaju zrake topline, zovemo *atermanskima*.<sup>2)</sup> Medju atermanske minerale ide većina metala.

Kako mineral ne propušta jednako sve zrake svijetla (sve boje svijetla), ne propušta tako jednako ni sve zrake topline (sve boje topline). Kamena so je mineral, koji jednako propušta gotovo sve zrake svijetla i sve zrake topline; ona je za svijetlo i za toplinu bezbojna. Alaun naprotiv propušta sve zrake svijetla gotovo jednakom jakosti, ali zrake topline apsorbira, pa tek neke od njih propušta; alaun je dakle za svijetlo bezbojan, a za toplinu bojadisan mineral. Prema tome vidimo, da se dijatermanski minerali ne podudaraju uvijek sa prozirnim mineralima, ni atermanski sa neprozirnim. Tako su na pr. neki neprozirni kristali kremenja dijatermanski, a prozirne pločice alauna atermanske.

**97. Vodjenje topline u različitim je mineralima različito.** Minerali različito vode toplinu, pa su neki od njih dobri, neki loši vodiči topline. Srebro je na pr. poznato kao osobito dobar vodič topline, dok je alabaster vrlo loš vodič topline. Ako uzmemo, da je sposobnost vodjenja topline kod srebra 100, onda je sposobnost vodjenja topline kod bakra 73,5, kod zlata 53,2, kod cinka 19, kod kositera 14,5, kod željeza 11,9, kod olova 8,5, kod platine 8,4, kod bizmuta 1,8. Drugi neki minerali, na pr.

<sup>1)</sup> Od grč. *diathermos*, skroz na skroz topao.

<sup>2)</sup> Od grč. *athermos*, bez topline.

dijamant, alabaster, vode toplinu još slabije od bizmuta. Što je mineral bolji vodič topline, što je lakše vodi, to se on osjeća hladnijim. To je svojstvo dosta važno, jer u nekim slučajevima može poslužiti za raspoznavanje minerala od minerala. Tako na pr. dijamanti vode toplinu lakše od drugih dragulja, a dragulji opet lakše od staklenih imitacija dragoga kamenja, pa ćemo ih po opipu moći razlikovati jedne od drugih. Kipovi i uresi od mramora i alabastera lako se raspoznaju opipom; mramor lakše vodi toplinu od alabastera, osjeća se dakle hladnijim od alabastera.

Dakako da i rasprostiranje topline, kao i svijetla, stoji do unutrašnje gradje kristala (minerala). U izotropnim mineralima šire se valovi topline na sve strane jednakom brzinom tako, da je forma rasprostiranja toplinskih valova kugla. U tetragonskim i heksagonskim mineralima širi se toplina u raznim smjerovima raznom brzinom, te je uvijek smjerom glavne osi ili najveće ili najmanje brzine; zato je valovna ploha topline u tim mineralima splošteni ili oduljeni rotacioni elipsoid. Jednako se u rompskim, monoklinskim i triklnskim mineralima širi toplina u raznim smjerovima raznom brzinom; tu imamo tri smjera, koji su jedan na drugom okomiti, gdje je brzina najveća, srednja i najmanja, pa je zato u tim mineralima valovna ploha topline troosni elipsoid.

Rasprostiranje topline dade se lijepo motriti pomoću Sénarmontovih pokusa. *H. de Sénarmont* je g. 1847. došao na misao, da od raznih minerala priredi zgodno orijentirane pločice, koje je prekrivio tanušnim slojem voska. Pločicu je probušio i kroz probušeni dio proveo metalnu žicu. Žicu je na slobodnom kraju ugrijao pa je toplina, šireći se kroz žicu, došla u dodir sa mineralnom pločom i tu se širila već prema strukturi kristala ili na sve strane jednakom ili raznom brzinom. Vosak se je otapao tada u figurama, u t. zv. *izotermama*, koje su odgovarale strukturi pločice. Pločice izotropnih minerala, dakle minerala teseralnih i amorfnih, imale su u svim prerezima izoterme u formi kruga; vosak se je na sve strane od dodira ugrijane žice jednakom brzinom otapao. Jednako se vladaju i prerezi tetragonskih i heksagonskih minerala okomiti na optičku os; prevlaka voska otapa se tu u izotermama, koje su krugovi, a prevlaka na prerezima, koji nisu okomiti na optičku os, otapa se u izotermama, koje imaju formu elipse. Jednako je i kod dvoosnih minerala: na prerezima okomitim na optičku os, izoterme su krugovi, a na ostalim prerezima elipse. *Röntgen* je u toliko modificirao Sénarmontovu metodu, što je mjesto voskom prevukao (nahukao) čistu i poliranu kristalnu plohu vlagom. Ovako vlagom nahukanu plohu dotaknuo je ugrijanim metalnim šiljkom. Oko šiljka počela je vlaga isparivanjem iščezavati i pločica je oko šiljka postala suha. Sušenje plohe oko šiljka odgovara dakako strukturi plohe, pa je kod teseralnih minerala na sve strane jednako, kod anizotropnih u raznim smjerovima razno. Do-

bivamo i na taj način izoterme, koje su u skladu sa strukturom kristala ili sa simetrijom kristalne plohe.<sup>1)</sup>

**98. Minerali se djelovanjem topline rastežu.** Kao svako tijelo, tako i minerali djelovanjem topline mijenjaju svoj obim; u najviše slučajeva njihov se obim toplinom uvećava; minerali se toplinom rastežu. To je rastezanje znatno slabije negoli kod tekućina. Dok se voda kod 100°C rastezne za 23-ći dio svoga obima, živa za 55-ti dio, dotle se kod iste temperature rastezne kamena so za 247-mi, dijamant tek za 8480-ti dio svoga obima. Nekim se mineralima kod izvjesne temperature obim umanjuje. Tako ima na pr. smaragd najmanji obim kod -4,2°, voda kod 4°, dijamant kod -24°C.

Kako rastezanje minerala stoji do rasprostiranja topline, to će se ono u mineralima različite unutrašnje gradje različito razvijati. Izotropni minerali, koji su takve unutrašnje gradje, da se toplina na sve strane jednakom brzinom širi, rastežu se na sve strane jednako. Kad bismo od takvog minerala priredili kuglu, pa je uz razne temperature grijali, ostala bi forma nepromijenjena, ostala bi uvijek kugla. Kod anizotropnih minerala rastezanje je u raznim smjerovima razno. Tako je kod tetragonskih i heksagonskih minerala rastezanje smjerom glavne osi ili najjače ili najslabije, pa kad bismo od takovoga minerala priredili kuglu te je ugrijali, ona bi se tako rastezla, da bi imala formu sploštenoga ili oduljenoga rotacionoga elipsoida. Tako se na pr. kremen protegne kod temperature od 100°C smjerom glavne osi za 0,000781, a okomito na glavnu os za 0,001419; kalcit se kod iste temperature protegne smjerom glavne osi za 0,002621, a okomito na glavnu os za 0,000540. Kugla kremenova prelazi grijanjem u splošteni rotacioni elipsoid, a kugla kalcitova u oduljeni rotacioni elipsoid. Mogli bismo dakle, analogno optičkim svojstvima, govoriti o termički pozitivnim i termički negativnim mineralima. Kod minerala rompskih, monoklinskih i triklinskih rastezanje je u raznim smjerovima takodjer različito, ali u tri okomita smjera ono je najjače, srednje i najslabije. Kugla priredjena od takva minerala prešla bi zagrijavanjem u troosni elipsoid. Tako se na pr. aragonit ugrijan na 100°C rasteže u jednom smjeru za 0,001016, u drugom za 0,001719, u trećem za 0,003460.

Kako se toplinom uvećava obim minerala, djeluje to uvećavanje i na stalnost plošnih kutova (17). Gdje je uvećavanje obima ili rastezanje minerala na sve strane jednako, kao kod izotropnih minerala, tu ostaju i plošni kutovi stalni. Ali kod anizotropnih minerala kutovi se uz raznu temperaturu mijenjaju, jer se takav mineral u raznim smjerovima razno rasteže. Kod jednoosnih kristala (tetragonskih i heksagonskih) kutovi se iz zone prizme i pravi kutovi između prizme i baze s temperaturom ne mijenjaju, ali ku-

<sup>1)</sup> W. Voigt Lehrbuch der Kristallphysik, pag. 369. Leipzig und Berlin 1910.

tovi onih ploha, koje su nagnute prema glavnoj osi, dakle plošni kutovi piramida, romboedara, skelnoedara, trapezoedara s temperaturom se mijenjaju. Tako na pr. kalcitov osnovni romboedar mjeri kod temperature od 10°C 74° 56', a kod 100°C 75° 4'; povišenjem temperature postaje kalcitov romboedar šiljati. Kod minerala dvoosnih (rompskih, monoklinskih i triklinskih) zapaža se promjena u veličini kuta na taj način, da su u rompskim kristalima pravi kutovi između pinakoida i ploha, koje su okomite na pinakoide uz svaku promjenu temperature stalni, a kutovi svih ostalih ploha promjenljivi; u monoklinskom su sustavu promjenljivi kutovi svih ploha, osim pravih kutova što ih čini klinopinakoid sa ploham iz zone ortoosi; u triklinskom se sustavu mijenjaju toplinom svi plošni kutovi. Dok se ovako neprestanim mijenjanjem temperature mijenjaju neprestano kutovi anizotropnih minerala, dotle ostaju zone nepromijenjene.<sup>1)</sup>

**99. Minerali se kod izvjesne temperature tale i ishlapljaju.** Svaki mineral možemo uz izvjesnu temperaturu pretvoriti u tekućinu; možemo ga rastaliti. Ako je mineral kristalizovan te je kemijski čista tvar (112), ima on uz stalan tlak i svoju stalnu temperaturu, kod koje se tali; tu temperaturu, uz koju se mineral (ili neko tijelo) tali, zovemo *talištem*. Dakako da je talište kod raznih minerala različito, ali za svaku mineralnu vrstu ono je stalno, te je prema tome važno svojstvo za razaznavanje minerala. Kako je talište kod različitih minerala različito, neka nam pokaže ovo nekoliko minerala:

živa.....	— 38,89°	zlatu.....	1062°
led.....	0°	bakar.....	1083°
sumpor (rompski).....	114,5°	albit.....	1135°
bizmut.....	265°	ortoklas.....	1160°
olovo.....	327°	tremolit.....	1220°
antimonit.....	520°	anortit.....	1260°
antimon.....	629°	leucit.....	1320°
galenit.....	727°	enstatit.....	1400°
kamena so.....	819°	kremen.....	1600°
srebro.....	960°	cirkon.....	oko 2000°

Mineralne tvari, koje se kristalizuju u više modifikacija (109), imaju talište, koje je za svaku modifikaciju drugo; sumpor na pr., koji se kristalizuje u rompskom sustavu, ima talište kod 114,5°, a druga njegova modifikacija, koja se kristalizuje u monoklinskom sustavu, kod 120°.

Kod minerala, koji su se razvili kao izomorfne smjese, kao čvrste otopine (113), koji nisu dakle kemijski čiste tvari, talište nije stalno, nego koleba; ono stoji uvijek do omjera sastavnih dijelova (komponentata), koji se medju

<sup>1)</sup> Karl Schulz: Die Koeffizienten der thermischen Ausdehnung der Mineralien und Gesteine und der künstlich hergestellten Stoffe von entsprechender Zusammensetzung. Fortschritte der Mineralogie, Kristallographie und Petrographie, Bd. IV. pag. 337., Bd. V. pag. 293., Bd. VI. pag. 137., Bd. VII. pag. 327.

sobom miješaju stvarajući izomorfnu smjesu. U nekoj je smjesi talište uvijek niže od tališta u kemijski čistom spoju, pa onaj omjer komponenata, kod kojega je talište najniže, zovemo *eutektičkom smjesom*.

Amorfni minerali nemaju stalna tališta; oni prelaze povišenjem temperature iz čvrstoga stanja postepeno u tekuće stanje.

Temperatura, kod koje se neki mineral tali, njegovo talište, jest uz obične prilike, uz koje obavljamo pokuse, ujedno i ona temperatura, uz koju mineral prelazi iz tekućega stanja u čvrsto, kruto; voda na pr. prelazi kod 0° C u kruto stanje, a ta je temperatura ujedno i njeno talište; živa prelazi iz tekućega stanja u kruto kod temperature od -38,89°, a sumpor (rompski) kod 114,5°; dakle kod iste temperature, kod koje prelazi neki mineral (ili neko tijelo uopće) iz krutoga stanja u tekuće, kod te iste temperature uz obične prilike prelazi on iz tekućega stanja u kruto; talište je uvijek jednako krutištu.

Talenje minerala možemo više puta obaviti ili u plamenu obične stearinske svijeće pomoću t. zv. duvaljke ili u modrom plamenu, što ga daje Bunsenov plamenik (žičak). Kad treba saznati, da li se neki mineral lakše ili teže tali, uzme se od njega sitan komadić tanušnih bridova i stavi se s onim dijelom, koji je najtanji, u plamen; na tankim bridovima može se rastaliti i mineral visokoga tališta. Antimonit  $Sb_2S_3$  tali se već na plamenu svijeće, natrolit  $Na_2Al_2Si_2O_{10} \cdot 2H_2O$  tali se lako u plamenu uz duvaljku u sitno zrno, granat (almandin)  $Fe_3Al_2Si_3O_{12}$  tali se također u plamenu uz duvaljku u sitno zrno, aktinolit  $Ca(MgFe)_3Si_4O_{12}$  tali se u plamenu uz duvaljku na tanušnim bridovima u sitno zrnce; jednako se tako tali u plamenu uz duvaljku i ortoklas  $KAlSi_3O_8$ , pa broncit  $(MgFe)SiO_3$ ; kremen  $SiO_2$  je u plamenu uz duvaljku netaljiv.

Neki minerali, koje talimo, prelaze kod ohladjivanja opet u prijašnje stanje; takav je mineral na pr. kamena so. Ali ima i takvih minerala, koji iz rastaljenoga stanja, kad prelaze u kruto, ostaju amorfni, pa im se u tom stanju umanjuje specifična težina (58); takav je na pr. mineral kremen, koji ima specifičnu težinu 2,65; ako ga rastalimo, pa rastaljenu masu ohladimo, ostat će ona amorfnu i imat će specifičnu težinu 2,23. Neki netopljivi minerali nakon talenja toliko se promijene, da postanu topljivi; granat  $Ca_3Al_2Si_3O_{12}$  je na pr. u sonoj kiselini netopljiv; ako ga rastalimo, njegova će se rastaljena tvar otapati u sonoj kiselini. Ima minerala, na pr. sumpor, koji kod više temperature ishlapljuju, a njihove pare, kad se uhvate hladnijih dijelova, prelaze u čvrsto stanje; kristalizuju se; taj proces, gdje neki mineral prelazi iz plinovita stanja neposredno u kruto (čvrsto), zovemo *sublimacijom*<sup>1)</sup>.

Tekući minerali, na pr. živa, petrolej, voda i t. d. uz višu temperaturu vriju prelazeći postepeno u pare, koje na hladnijim mjestima prelaze opet

<sup>1)</sup> Od lat. *sublimāre*, penjati se.

u tekuće stanje; taj proces, gdje neki minerali prelaze iz plinovitoga stanja u tekuće, zovemo *destilacijom*.<sup>1)</sup> Uvijek je vrelište minerala (temperatura, uz koju neka tvar vrije) uz izvjestan tlak konstantno. Kod normalnoga tlaka vrije na pr. voda kod 100° C, živa kod 350° C, sumpor kod 450° C. Otopine minerala u vodi imaju više vrelište od same vode; iz takvih se otopina da lako dobiti destilacijom čista voda; ako na pr. imamo zasićenu vodenu otopinu kamene soli, to će ona vreti kod 108° C; možemo dakle iz otopine dobiti lako čistu vodu. Iz otopina, koje su sastavljene od smjese različitih tekućina, možemo pojedinu tekućinu dobiti destilacijom svaku samu za sebe tako, da takovu otopinu podvrgnemo različitim temperaturama; na taj način, t. zv. *frakcioniranom*<sup>2)</sup> *destilacijom*, možemo iz petroleja, koji je sastavljen iz smjese različitih tekućina, od kojih svaka ima svoje zasebno vrelište, dobiti pojedinu tekućinu svaku samu za sebe, možemo dakle odijeliti jednu tekućinu od druge.<sup>3)</sup>

**100. Temperatura utiče na promjenu strukture minerala.** Kako utiče temperatura na premještanje mineralnih čestica, dakle na promjenu strukture, čuli smo, kad smo govorili o mimetskim sraslacima (50). Tamo smo kazali, kako leucit kod temperature ispod 550° C prelazi u anizotropan mineral, koji je sastavljen od samih polisintetskih sraslaca, a kod temperature iznad 550° C on je izotropan, pa nema nikakvih sraslačkih lamela. Isto se događa još kod nekih sraslaca, da grijanjem prelaze u jednovit individuum, na pr. polisintetski sraslaci kalcita grijanjem iščezavaju i kalcit se očituje kao jednovit, zaseban individuum. U nekim mineralima, koji su se razvili u mimetskim ili polisintetskim sraslacima, dolazi djelovanjem temperature do unutrašnje napetosti, koja znade uzrokovati neke optičke anomalije (95).

Temperatura može da bude od znatna uticaja na razvitak polimorfnih modifikacija neke mineralne supstancije. Kremen se na pr. kristalizuje kod temperature ispod 575° C u trapezodrijskoj tetartoedriji sa osnim odnosom  $a : c = 1 : 1,09997$  i sa eksponentima loma svijetla  $\omega = 1,54414$ ,  $\epsilon = 1,55325$  (za natrijsko svjetlo). Kremen takvih svojstava zovemo  $\alpha$ -kremen. Ako  $\alpha$ -kremen ugrijemo do temperature od 575° C, prijeći će u drugu modifikaciju, u  $\beta$ -kremen, koji se kristalizuje u trapezodrijskoj hemiedriji sa osnim odnosom  $a : c = 1 : 0,923$  i sa eksponentima loma svijetla  $\omega = 1,5328$ ,  $\epsilon = 1,5408$  (za natrijsko svjetlo); uz temperaturu od 870° C prelazi u treću modifikaciju, u  $\alpha$ -tridimit sa osnim odnosom  $a : c = 1 : 1,65304$  i sa eksponentima loma svijetla  $\omega = 1,4107$ ,  $\epsilon = 1,4285$ ; kod niže temperature prelazi  $\alpha$ -tridimit u  $\beta$ -tridimit, koji je po svoj prilici rompskoga sustava sa osnim odnosom  $a : b : c = 0,5774 : 1 : 0,9544$ ; uz temperaturu od 1470° C prelazi kremen

<sup>1)</sup> Od lat. *destillāre* kapati.

<sup>2)</sup> Od lat. *frāngere*, *frāctum*, raskomadati.

<sup>3)</sup> A. L. Day: Das Studium der Mineralschmelzpunkte. Fortschritte der Mineralogie, Kristallographie und Petrographie, IV. Bd. pag. 115.

u petu modifikaciju, u kristobalit, koji je tetragonski; kad kristobalit ugrijemo na temperaturu 180°—270°, postaje kristobalit teseralan (šesta modifikacija kremenâ). Uz razne temperature može željezo da se pojavi u četiri modifikacije. Ispod 769° postoji  $\alpha$ -željezo, iznad 769°  $\beta$ -željezo; kod 906° prelazi  $\beta$ -željezo u  $\gamma$ -željezo, a iznad 1401° dolazi do razvitka  $\delta$ -željeza.

Jednako tako utiče temperatura na optička svojstva minerala. Povišenjem temperature umanjuje se kod kamene soli, silvina i fluorita lom svijetla, a kod dijamanta i sfalerita lom se uvećava. Kod kremenâ se oba eksponenta povišenjem temperature umanjuju, a jednako se umanjuje i jakost dvoloma. Kod kalcita se povišenjem temperature jako povećava lom ekstrordinarne, a vrlo malo ordinarne zrake, pa zbog toga postaje i dvolom slabiji. Kod berilja uz povišenje temperature rastu oba eksponenta loma, a uvećava se i jakost dvoloma.

Kako je kod optički dvoosnih minerala kut optičkih osi zavisao o eksponentima, to će se s pmojenom eksponenta mijenjati i kut optičkih osi. U monoklinskom sustavu mijenjaju se sa temperaturom i ona dva glavna smjera brzine, koja nisu paralelna sa ortoosi, a u triklinskom sustavu mijenjaju se sa temperaturom sva tri glavna smjera brzine. Ako ugrijemo aragonit na 60°, postaju sva tri njegova eksponenta manja, a kut se optičkih osi jedva što mijenja. U baritu se grijanjem kod 200° umanjuju sva tri eksponenta, a kut optičkih osi smanji se za 3°. Grijanjem gipsa uz temperaturu od 91° prelaze obje hiperbole u krst (u natrijskom svijetlu), a uz višu se temperaturu razilaze u hiperbole u ravnini, koja je okomita na prijašnju ravninu optičkih osi. Kod adulara pada veličina kuta optičkih osi grijanjem na nul, a uz temperaturu od 200° javljaju se opet hiperbole, koje leže u ravnini okomitoj na prijašnju ravninu optičkih osi; pri tom se kut optičkih osi uvećava. Ohladivanjem sve se vraća u prijašnje stanje, pa promjene teku obrnutim putem.<sup>1)</sup>

### Magnetička svojstva minerala.

**101. Minerali se odlikuju magnetičkim svojstvima.** Kod nekih minerala očituju se magnetička svojstva u tom, što djeluju na magnetsku iglu. Takvih je minerala dosta malo, a nalazimo ih obično među željeznim rudama ili među mineralima, koji imaju željeza. Neki od magnetičkih minerala djeluju na magnetsku iglu tako, da privlače oba njena pola; to su minerali jednostavnoga magnetizma. Jednostavnim se magnetizmom odlikuju neki magnetiti, pirotin, almandin (željezni granat) i t. d. Ali ima magnetičnih minerala, koji jedan pol magnetske igle privlače, a drugi odbi-

<sup>1)</sup> G. Tschermak: Lehrbuch der Mineralogie. Achte Auflage, pag. 266. — H. E. Boeke und W. Eitel: Grundlagen der physikalisch-chemischen Petrographie. Zweite Auflage, pag. 48. Berlin 1923. — J. Beckenkamp: Statische und kinetische Kristalltheorien, II. Teil., pag. 537.

jaju; to su minerali polarnoga magnetizma. Polarnim magnetizmom odlikuju se neki magnetiti, na pr. naši magnetiti iz Gorskoga Kotara oko Mrzle Vodiče, pa platina od Nižnjega Tagilska na Uralu.

Ima minerala jednostavnoga magnetizma, koje magnet privlači; to su t. zv. paramagnetični<sup>1)</sup> minerali. Ali ima i takovih, koje magnet odbija; to su dijamagnetični<sup>2)</sup> minerali. Kad istražujemo, koji je mineral paramagnetičan, a koji dijamagnetičan, izreže se od njih malen prutić i stavi medju polove vrlo jaka elektromagneta; ako je mineral paramagnetičan, postavit će se prutić sa svojom duljom osi u pravac, koji spaja oba pola; prutić se postavio, velimo, aksijalno.<sup>3)</sup> Ako je mineral dijamagnetičan, postavit će se prutić okomito na pravac, koji spaja oba pola; prutić se postavio, velimo, ekvatorijalno. Po aksijalnom i ekvatorijalnom položaju znamo, da li je neki mineral paramagnetičan ili dijamagnetičan.

Kako i magnetizam u mineralu stoji do njegove unutrašnje gradje, to će on biti u raznim mineralima različit. Izotropni minerali magnet u svim smjerovima ili jednako privlače ili jednako odbijaju. Tako je na pr. magnetit, teseralan mineral, u svim smjerovima jednako paramagnetičan. Teseralni (i amorfni) minerali magnetički su izotropni.

Tetragonski i heksagonski minerali imaju u smjeru glavne osi ili najjači ili najslabiji paramagnetizam ili dijamagnetizam. Tako je na pr. sferit paramagnetičan, a njegova se glavna os postavlja aksijalno; turmalin je takodjer paramagnetičan, a glavna mu se os postavlja ekvatorijalno. Kalcit je dijamagnetičan i glavna mu se os postavlja ekvatorijalno; bizmut, koji je takodjer dijamagnetičan, postavlja se sa glavnom osi aksijalno.

Rompski, monoklinski i triklinski minerali imaju tri okomita smjera, gdje je paramagnetizam ili dijamagnetizam najjači, srednji i najslabiji. Tetragonski, heksagonski, rompski, monoklinski i triklinski minerali magnetički su anizotropni.

Magnetičnost minerala pomaže nam kadikad kod odjeljivanja minerala jednih od drugih. Ima na pr. stijena, u kojima su se razvili razni minerali, te su se medju sobom tako izmiješali, da ih nije moguće jedne od drugih odijeliti. Takove stijene valja smrviti u prah, pa ako je u njem magnetičnih minerala, dat će se oni lako pomoću magneta izvući iz praha. Na taj način možemo odijeliti magnetit, augit, olivin i druge željezom bogate minerale od minerala, u kojima nema željeza, na pr. od glinenaca (feldšpata), leucita i t. d. Minerale, koji su slaba magnetizma, odjeljujemo jedne od drugih elektromagnetom. Kako možemo učiniti, da je elektromagnet jačega ili slabijega magnetizma, možemo tako odjeljivati minerale jačega i slabijega magnetizma jedne od drugih.

<sup>1)</sup> Od grč. *pára*, uz i *magnêtes*, magnetit.

<sup>2)</sup> Od grč. *día*, skroz.

<sup>3)</sup> Od grč. *áksón*, os.

Neki željezom bogati minerali, na pr. hematit, limonit, pirit, siderit, željezom bogati olivin, serpentin, granat i t. d. tako su slaba magnetizma, da ih magnetska igla uopće ne privlači. Ako takve minerale žarimo, oni će se povišenjem temperature toliko promijeniti, da će nakon žarenja postati magnetični i magnetska će ih igla privlačiti. Na toj je pojavi osno-  
vano istraživanje željezom bogatih minerala pred duvaljkom na ugljenu.<sup>1)</sup>

### Električna svojstva minerala.

**102. Minerali mogu biti električni.** U mineralima se može izazvati elektricitet ili trenjem ili tlakom ili zagrijavanjem ili ohladjivanjem (promjenom temperature). Najlakše je uzбудiti elektricitetu trenjem, jer svaki čvrsti mineral (kao i svako čvrsto tijelo) postaje trenjem električan. Pri tom će neki minerali biti pozitivno, a neki negativno električni. Tako na pr. kremen postaje nakon trenja pozitivno, a sumpor negativno električan. Dakako da su neki minerali dobri vodiči elektricite, na pr. metali, a neki loši vodiči, na pr. sumpor, dijamant i t. d.

Osim trenja uzbuđuje u mineralu elektricitetu kalanje, kršenje, drobljenje. Kad kalamo na pr. gips ili tinjac (liskun), listovi, što postaju pri kalanju, postaju električni i to jedan pozitivno, drugi negativno. Jednako može u mineralu uzbuditi elektricitetu i tlak. Elektricitetu, koja je postala u mineralu djelovanjem tlaka, zovemo *piezoelektricitetom*.<sup>2)</sup> Kod nekih je minerala potreban tek neznatan tlak, pa već postaju električni. Tako će na pr. postati kalcit pozitivno električan, ako njegovu kalotinu tek slabo pritištemo medju prstima. Piezoelektriciteta osobito se rado pojavljuje kod kristala, koji nemaju centra simetrije. Tako su dokazali pokusima *J. i P. Curie*, da kristali turmalina postaju djelovanjem tlaka (prešanjem) električni; elektriciteta je na jednom kraju glavne osi pozitivna, na drugom negativna. Slično je dokazao *Röntgen* na kristalima kremenca, koji su enantiomorfni. Ako je tlak djelovao u smjeru suosi, razvila se elektriciteta, koja je bila na krajevima suosi različita, pozitivna i negativna.

Kod kristala, koji su loši vodiči topline, pojavljuje se elektriciteta, kad ih grijemo ili kad ih ohladjujemo; dakle za trajanja promjene temperature. Elektricitetu, koja postaje u mineralu za trajanja promjene temperature, zovemo *pireoelektricitetom*<sup>3)</sup>; ona se ne javlja nikad, dok je mineral pod konstantnom temperaturom.

Kad se u kristalu razvija *pireoelektriciteta*, razvija se ona uvijek u istom kristalu i kao pozitivna i kao negativna (razlika od elektricite, koja postaje u mineralu trenjem); tu se ona razdijeli tako, da se na isto-

<sup>1)</sup> *P. Niggli*: Lehrbuch der Mineralogie, I. Teil. Zweite Auflage, pag. 334.

<sup>2)</sup> Od grč. *piezein*, tlačiti.

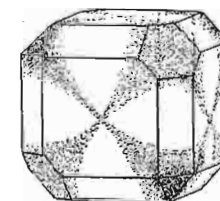
<sup>3)</sup> Od grč. *pyr*, vatra,

vrstnim ploham, bridovima i uglovima (rogljevima) okuplja uvijek ili samo kao pozitivna ili samo kao negativna elektriciteta. Ipak se na istim mjestima javljaju obje elektricite naizmjenice i to jedna pri zagrijavanju, druga za ohladjivanja. Ako se pri zagrijavanju na nekim dijelovima kristala okupila pozitivna, okupit će se na istim dijelovima za ohladjivanja negativna elektriciteta.

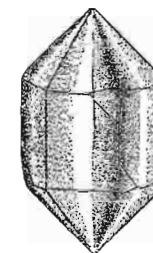
Neki minerali, naročito oni, koji nemaju centra simetrije, na pr. hemimorfni i enantiomorfni minerali, imaju, poput piezoelektricitete (pokusi Curie-a i Röntgena), *pireoelektricitetu* na suprotnim krajevima različitu. Tako turmalin, koji se kristalizuje kao hemimorfan mineral, postaje pri grijanju na jednom kraju pozitivno, a na drugom negativno električan (sl. 751.). Pri prelazu iz toploga stanja u hladnije krajevi, koji su bili do tada pozitivno električni, postaju negativno električni. Onaj kraj, koji je pri grijanju pozitivno električan, nazvao je *G. Rose analognim polom*, a onaj kraj, koji pri grijanju postaje negativno električan, *antilognim polom*.



Sl. 751.



Sl. 752.



Sl. 753.

*Pireoelektricitetu* možemo izazvati i kod kremenca, koji se kristalizuje u enantiomorfnim kristalima; bridovi, u kojima se sastaju plohe trapezoedra i romboedra, postaju za ohladjivanja negativno električni, a bridovi, gdje se nisu razvile plohe trapezoedra, pozitivno električni (sl. 753.); bridovi su dakle naizmjenice pozitivno i negativno električni. Sličnu ćemo pojavu zapaziti i kod kristala boracitovih (sl. 752.) koji se kristalizuje u tetraedrijskoj hemiedriji teseralnoga sustava. Pri ohladjivanju postaju uglovi (rogljevi) boracita sa većim ploham tetraedra pozitivno, a sa manjim ploham negativno električni. Ako boracit ugrijemo iznad 265°, prelazi u izotropnu modifikaciju (50) i ne pokazuje *pireoelektricitete*.

*Hankel* je našao tragova *pireoelektricitete* i kod onih kristala, koji imaju centar simetrije. *Voigt* je teoretskim istraživanjima došao do zaključka, da je u takvim kristalima uzrok *pireoelektriciteti* u unutrašnjoj napetosti kristala; do napetosti u kristalu može doći zbog nejednoličnoga širenja topline, pa ta napetost uzrokuje onda *pireoelektricitetu*. Ali *Voigt* je našao *pireoelektricitetu* i kod onih kristala sa centrom simetrije, koje je jednolično grijao. Kod

kristala sa centrom simetrije, na pr. kod kristala tetragonskih i heksagonskih, razvija se jedna vrsta piroelektricitete na krajevima glavne osi, a svuda okolo, okomito na glavnu os, druga vrsta. Tako su na pr. kristali kalcita većinom na krajevima glavne osi pozitivno, a na plohama prizme negativno električni; ali ima i takovih kalcitovih kristala, koji su na krajevima glavne osi negativno, a na plohama prizme pozitivno električni. Topazovi kristali (holoedrija rompskoga sustava) imaju na kraju vertikalne osi i oko bridova, koji su paralelni brahiosi, pozitivnu, a oko bridova, koji su paralelni makroosi, negativnu elektricitetu.

Mineralog *Kundt* našao je vrlo zgodnu i jednostavnu metodu, pomoću koje možemo u mineralima dokazati i primijetiti piroelektrična svojstva. Uzmemo sumporna praha pa ga izmiješamo sa crvenim prahom minija  $Pb_3O_4$ . Tako izmiješani prah prosijemo kroz fino pamučno sito; prolazeći kroz šupljine sita, dolazi do trenja praha, pa žuti sumporni prah postane negativno električan, a crveni minijev prah pozitivno električan. Ako tako električna smjesa sumpora i minija padne na piroelektričan mineral, okupljat će se sumporni (žuti) prah na mjestima, gdje je mineral pozitivno električan, a minijev (crveni) prah, gdje je mineral negativno električan (sl. 751.—753.); na crvenim (u slici tamnijim) dijelovima nalazi se minijev prah, na žutim (u slici svjetlijim) dijelovima sumporni prah.

Minerali u raznim smjerovima razno vode elektricitetu. Da dokaže sposobnost vodjenja elektricitete u raznim smjerovima, *Wiedemann* je upotrijebio prah, koji je vrlo loš vodič elektricitete; takav je prah na pr. sjeme od likopodija, koji se pospe na pojedine plohe kristala. Šiljkom igle, u koju je uvedena elektriciteta, dotakne se prahom posute plohe. U smjerovima, gdje je vodjenje elektriciteta jače, bude prah jače odbijen, pa se tako oko vrška igle nalazi prostor, koji je očišćen od praha; očišćen prostor, već prema vodljivosti, ima formu ili kruga ili elipse, pa jako podsjeća na formu izotermijskih linija, što ih dobivamo metodom *Sénarmontovom*, kad određujemo vodljivost topline u kristalima (97).

Ako dovedemo u dodir dva minerala, koji su vrlo dobri vodiči topline i to tako, da se jednim svojim krajem dotiču, a drugi njihov slobodni kraj spojimo sa metalnom žicom, te oba minerala na mjestu dodira ugrijemo, razvit će se električna struja, kojoj ćemo moći mjeriti jakost, ako u žicu, što spaja slobodne krajeve minerala, uklopimo galvanometar. U mineralima se razvija termoelektriciteta. Termostruje različite su jakosti kod različitih kombinacija minerala. Element, koji je sastavljen od pirit i halkopirita, jači je 7,62 puta od elementa bizmut-antimon, a element galenit-pirit jači je od elementa bizmut-antimon oko 13 puta. Jakost je termostruje zavisna o kristalnim plohama. Ako se kristali željeznoga sjajnika dotiču medju sobom sa plohama osnovnoga pinakoida, daju slabiju struju negoli, kad se dotiču sa plohama, od kojih je jedna okomita na osnovni pinakoid.

Dva minerala, koji su vrlo dobri vodiči elektricitete, razvit će i onda električnu struju, kad ih na jednom kraju spojimo metalnom žicom ili ih na tom kraju dovedemo u medjusoban dodir, a slobodne njihove krajeve zaronimo u otopinu koje soli ili razrijedjene kiseline; struja koja se pri tom razvija, može se mjeriti galvanometrom. Kako se u prirodi mogu minerali razviti jedan uz drugoga tako, da se dotiču jednim krajem, a slobodni njihovi krajevi, mogu dospjeti u otopinu mineralnih tvari, razvija se tako u mineralnoj otopini galvanska struja, koja dovodi do izvjesnih kemijskih promjena u otopini i do razvitka nekih minerala (129.).

Iz nekih pokusa vidi se, da je vodjenje galvanske struje jednako vodjenju topline (97). Ako uzmemo, da je vodjenje elektricitete u srebru 100, onda je u bakru 77,4 (za toplinu 73,5), u zlatu 55,9 (za toplinu 53,2), u kositeru 11,5 (za toplinu 14,5), u željezu 14,4 (za toplinu 11,9), u olovu 7,8 (za toplinu 8,5), u platini 10,5 (za toplinu 8,4), u bizmutu 1,2 (za toplinu 1,8).

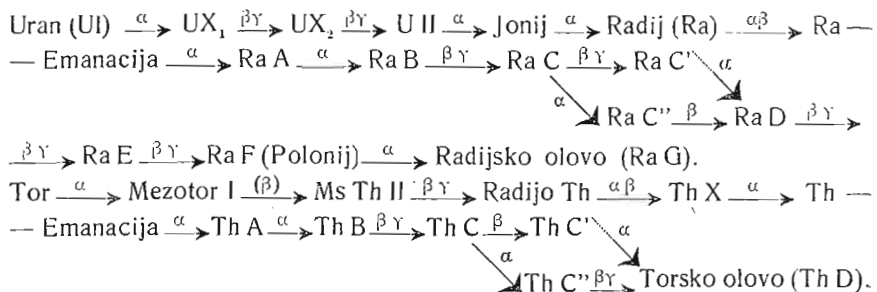
Sposobnost vodjenja galvanske struje u mineralima zavisna je o strukturi kristala; ona je u raznim smjerovima razna. Tako je na pr. u kristalima željeznoga sjajnika smjerom glavne osi slabija, negoli u smjeru na to okomitom.<sup>1)</sup>

**103. Minerali, u kojima ima urana i tora, odlikuju se radioaktivnošću.** *Henri Becquerel* otkrio je god. 1896. novo svojstvo materije — *radioaktivnost*. Istražujući uranove spojeve, našao je *Becquerel*, da iz njih izilaze nevidljive zrake, koje prolaze kroz tanušne slojeve čvrstih, tekućih i plinovitih tvari; te zrake prolazeći kroz neki plin, čine ga vodičem elektricitete, djeluju na fotografsku ploču, izazivaju fluorescenciju. Istraživanja *Curie-a* i njegove gospodje pokazala su, da te zrake potiču od elementa radija i polonija, koji su nadjeni u uranovu smolincu iz *Jáchymova* u Čehoslovačkoj. Kasnijim istraživanjem našlo se, da takve zrake izlaze i iz onih minerala, koji imaju tora i aktinija. Radioaktivni elementi daju tri vrste zraka:  $\alpha$ -zrake sastavljene su od čestica, koje su velike brzine i pozitivne elektricitete; one ne mogu da prodju kroz aluminijsku pločicu tanku 0,1 mm;  $\beta$ -zrake<sup>2)</sup> sastavljene su od čestica, koje su velike brzine i negativne elektricitete (kao i katodne zrake); one mogu da prodju kroz metalne pločice debele i nekoliko milimetara;  $\gamma$ -zrake identične su Röntgenovim zrakama; one mogu da prodju kroz metalne pločice debele i nekoliko centimetara, a nisu električne.

Sve radioaktivne tvari potiču od urana i tora, koji se raspadaju po ovoj *Fajans-ovoj* šemi:

1) *G. Tschermak*: Lehrbuch der Mineralogie. Achte Auflage, pag. 269—273.

2)  $\beta$ -zrake daju još kalij i rubidij.



Još postoji niz protaktinija — aktinija kao ogranak uranskoga niza: Protaktinij Pa  $\xrightarrow{\alpha}$  Aktinij Ac  $\xrightarrow{(\beta)}$  Radijoaktinij Ra Ac  $\xrightarrow{\alpha\beta\gamma}$  Aktinij X (AcX)  $\xrightarrow{\alpha}$  Ac Em (Ac — Emanacija)  $\xrightarrow{\alpha}$  Ac A  $\xrightarrow{\alpha}$  Ac B  $\xrightarrow{\beta\gamma}$   $\xrightarrow{\beta\gamma}$  Ac C  $\xrightarrow{(\beta)}$  Ac C'  $\xrightarrow{\alpha}$  Ac C''  $\xrightarrow{\beta\gamma}$  Ac D = aktinijsko olovo.

Grčka slova  $\alpha\beta\gamma$  označuju, koje zrake izlaze pri pretvaranju.

Raspadanje radioaktivnih elemenata, gdje je konačni produkt raspadanja olovo, vrši se po izvjesnim zakonima, te je broj atoma, koji postaju u jedinici vremena raspadaanjem radioaktivnih elemenata, proporcionalan broju još neraspadnutih atoma. Što je raspadanje u jedinici vremena veće, veći je i stupanj aktivnosti elementa. Kako je množina konačnoga produkta (radijsko, torsko i aktinijsko olovo) zavisna o vremenu raspadanja, možemo u nekom mineralu ili kamenu, poznavajući tu množinu i iskonsku množinu elementa, koji se raspada, saznati za vrijeme, koje je proteklo od početka raspadanja, t. j. možemo na taj način odrediti starost minerala.

Od jednog grama urana (zajedno sa produktima raspadanja) dobije se godišnje  $1,97 \cdot 10^{-11}$  g helija i  $1,27 \cdot 10^{-8}$  g radijskoga olova. Pri takvom raspadaњу radioaktivnih tvari razvija se i toplina, pa 1 g, na pr. radija (zajedno sa njegovim produktima raspadanja Ra — Emanacijom, Ra A, Ra B i Ra C), razvija toplinu u jednom satu od 135 gramkalorija; 1 g urana daje  $10^{-4}$  gramkalorija; 1 g uranova smolinca sa jedno 64%. U daje  $6,5 \cdot 10^{-5}$  gramkalorija.

Kao uranov smolinac odlikuju se još radioaktivnošću klevejit (vrsta uranova smolinca, koji ima u sebi još i mnogo tora), halkolit (bakrov fosfat sa uranom), otenit (kalcijski fosfat sa uranom), torit i oranžit (torovi oksidi), monacit (fosfat cera, lantana i tora), ksenotim (itrijski i cerski fosfat sa torom), eshinit (kalcijski tantalat sa torom), fergusonit (itrijski tantalat), nijobit i tantalit (željezni tantalati), karnotit (kalijski uranski vanadat), torijanit (torov oksid sa uranom) i t. d.

Zrake, što izlaze iz radioaktivnih minerala, mogu da u mineralima izazovu izvjesne boje (78). Kadikad se kod nekih minerala, na pr. kod biotita,

rogovače (hornblende), kordijerita, klorita, fluorita i t. d. nalaze neke sitne bojadisane mrlje oko sićušnih uklopaka radioaktivnih minerala; promjer tih mrlja, koje zovemo *pleohroitskim dvorom*, nije veći od 0,04 do 0,08 mm; drži se da potiču od  $\alpha$ -zraka.<sup>1)</sup>

### Fiziološka svojstva minerala.

Ima medju mineralima i takovih, koji se daju prepoznati po ukusu, po mirisu, po opipu; te njihove osobine zovemo *fiziološkima*. Mnogi minerali, koji su u vodi topljivi, odlikuju se *okusom*; tako je na pr. kamena so slana, silvin gorko slan. Kod nekih minerala, kad ih mrvimo ili čekićem udaramo, razvija se oštar *miris*. Naši dolomiti sa planine Dudice u Južnoj Srbiji, kad ih udaramo čekićem, razvijaju oštar miris po sumpornom vodik. Mnogi krečnjaci i dolomiti našega krša, kad ih mrvimo u prah, vonjaju vrlo neugodno. Glina, kad je nakvasimo vodom, vonja nekim osebnim mirisom, koji je vrlo značajan za glinene tvari; taj glineni vonj potiče od amonijačnih spojeva, kojih ima obično u mineralima, što su postali taloženjem mineralne tvari. Za neke je minerale značajan *opip*. Milovka i grafit, kad ih pipamo prstima, osjećaju se kao masni; velimo: milovka<sup>2)</sup> i grafit masna su opipa. Neki su minerali opora, neki hrapava opipa i t. d.; napomenuli smo već jednom i minerale, koji mogu biti hladna opipa (97). Neki minerali, koji su porozni, imaju osobinu, da se lijepe na jezik; takav je mineral na pr. stiva (morska pjena).

<sup>1)</sup> Madame P. Curie: Die Radioaktivität, I. Bd., pag. 118. Leipzig 1911.



### III. MINERALNA KEMIJA.

Saznanjem morfoloških i fizičkih svojstava minerala nismo još potpuno upoznali njegovu prirodu; ostala nam je još nepoznata njegova tvar. Da upoznamo i tvorni sastav minerala, potrebno je ispitati njegova kemijska svojstva. Saznanje kemijskih svojstava minerala u velike nam pomaže kod objašnjavanja njegova postajanja i njegova nestajanja, jer procesi, što se vrše kod postajanja minerala i njegova nestajanja, procesi su fizičko-kemijske prirode.

Kod proučavanja tvarnoga sastava minerala obavljamo niz kemijskih reakcija, koje imaju za posljedicu potpuno uništenje minerala. Pri tom proučavanju rastavljamo mineral u njegove sastavne dijelove; mineral *kemijski analiziramo*<sup>1)</sup>. Ako pri kemijskoj analizi istražujemo samo, od kojih je elemenata sastavljen mineral, obavljamo *kvalitativnu*<sup>2)</sup> *kemijsku analizu*. Kad bismo na pr. htjeli saznati, od kojih je elemenata sastavljen pirit, morali bismo obaviti kvalitativnu kemijsku analizu i našli bismo, da je to mineral, koji je sastavljen od željeza Fe i sumpora S. Ako ispitujemo, koliko je po jedinoga elementa u mineralu, obavljamo *kvantitativnu*<sup>3)</sup> *kemijsku analizu*, pa nam ona, na pr. kod pirita, kaže, da u tom mineralu ima 46,67% željeza i 53,33% sumpora.

Pri proučavanju minerala ne obavlja mineralog samo kemijsku analizu, t. j. ne rastavlja mineral u njegove sastavne dijelove, nego pokušava načiniti u laboratoriju i sam onakav mineral, kakav se nalazi u prirodi. Pri tom poslu on sastavlja pojedine elemente u izvjestan kemijski spoj; on obavlja *sintezu*.<sup>4)</sup> Takvom sintezom uspjelo je čovjeku načiniti čitav niz kemijskih spojeva, koji se po svim svojim morfološkim, fizičkim i kemijskim svojstvima ni u čemu ne razlikuju od minerala, koji su postali u prirodi, u kori Zemljinoj. To su sintetički minerali (3).

Kako su morfološka i fizička svojstva minerala zavisna o njegovoj unutrašnjoj gradnji, jednako su o toj gradnji zavisna i kemijska svojstva. Mineral može ostati tvorno nepromijenjen, ali će se njegova kemijska (pa i morfološka i fizička) svojstva odmah promijeniti, čim se promijeni unutrašnja gradnja.

Tako su na pr. kalcit i aragonit tvorno potpuno jednaki; jedan i drugi mineral jest kalcijski karbonat  $\text{CaCO}_3$  sa 56% CaO i 44%  $\text{CO}_2$ . Kvantitativnom kemijskom analizom ne možemo nikako razlikovati kalcit od aragonita. Kalcit se kristalizuje heksagonski u romboedrijskoj hemiedriji, aragonit u rompskoj holodriji; oba su dakle minerala različite unutrašnje gradje, pa su zato i različiti kemijskih svojstava. O tom se možemo uvjeriti, ako kuhamo kalcitov prah u kobaltnoj soluciji (kobaltni nitrat  $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$  otopljen u vodi kao crvena tekućina); kalcitov prah postat će pri tom kuhanju modrušaste boje, koja potiče od kobalnoga karbonata  $10\text{CoCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , koji je u salmijaku topljiv, a aragonitov prah uz istu tu reakciju dobiva lijepu jorgovanastu boju, koja potiče od kobalnoga karbonata  $10\text{CoCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , koji se ne otapa u salmijaku. Ta veza između kemijskih svojstava minerala i njegove unutrašnje gradje očituje se osobito lijepo u vezi, koja postoji između morfoloških, fizičkih i kemijskih svojstava minerala. Kako se mineral kemijski mijenja, mijenja se fizički i morfološki, a i obrnuto. Zato možemo kadikad iz fizičkih i morfoloških svojstava zaključiti na kemijski sastav minerala, a iz kemijskoga sastava minerala na njegova morfološka i fizička svojstva. Tako su na pr. američki mineralozi S. L. Penfield i W. T. H. Howe proučavajući kristalografska (morfološka) i kemijska svojstva minerala iz grupe humita, zaključili, da se negdje u prirodi mora nalaziti još jedan nepoznati član te grupe. U vrijeme istraživanja pomenutih mineraloga poznata su bila tri člana te grupe: hondrodit, humit i klinohumit sa ovim kemijskim sastavom i ovim osnim odnosom:

Hondrodit  $\text{Mg}_3 [\text{Mg} (\text{F} \cdot \text{OH})]_2 [\text{SiO}_4]_2$   $a : b : c = 1,0802 : 1 : 3,1435$ ,  $\beta = 90^\circ$

Humit  $\text{Mg}_5 [\text{Mg} (\text{F} \cdot \text{OH})]_7 [\text{SiO}_4]_3$   $a : b : c = 1,0802 : 1 : 4,4009$ ,  $\beta = 90^\circ$

Klinohumit  $\text{Mg}_7 [\text{Mg} (\text{F} \cdot \text{OH})]_2 [\text{SiO}_4]_4$   $a : b : c = 1,0802 : 1 : 5,6583$ ,  $\beta = 90^\circ$

Humit se kristalizuje rompski, a hondrodit i klinohumit monoklinski, ali se kosi kut  $\beta$  tako približuje pravom kutu, da je uopće nemoguće dokazati njegov kos položaj. Iz osnoga se odnosa razabira, da su osi  $a$  i  $b$  u sva tri člana jednake, a vertikalna os  $c$  odnosi se u sva tri člana kao 5 : 7 : 9 ili kao  $0,6287 \times 5$ ;  $0,6287 \times 7$ ;  $0,6287 \times 9$ . Dakle dužina vertikalne osi  $c$  u sva tri člana odnosi se kao i broj Mg-atoma u ta tri člana. Iz tih pojava zaključili su Penfield i Howe, da se mora nalaziti još jedan član te grupe, koji će se kristalizovati ili u rompskom ili u monoklinskom sustavu, ali u tom slučaju kut  $\beta$  mora biti jednak  $90^\circ$ , a osni odnos mu je  $a : b : c = 1,0802 : 1 : 1,8861$  (ili  $0,6287 \times 3$ ); taj mineral mora dakle imati kemijski sastav, komu odgovara formula  $\text{Mg} [\text{Mg} (\text{F} \cdot \text{OH})]_2 \text{SiO}_4$ . Svi članovi humitne grupe odnose se sa svojim Mg-atomima kao 3 : 5 : 7 : 9, a taj isti odnos postoji i u vertikalnoj osi  $c$ . Penfield i Howe na osnovi kemijskih i kristalografskih svojstava članova humitne grupe predskazali su opstanak posve nepoznata minerala opisujući tačno njegova kristalografska i kemijska svojstva. I doista god. 1904. našao je švedski mineralog Hjalmar Sjögren.

1) Od grč. *analyein*, rastaviti. 2) Od lat. *qualitas*, kakvoća. 3) Od lat. *quantitas*, količina. 4) Od grč. *synthemi*, spajati.

kod Nordmarkena u Švedskoj jedan mineral, koji je tačno odgovarao predskazanome mineralu Penfielda i Howe-a; mineral se kristalizuje monoklinski sa kutom  $\beta = 90^\circ$  i osnim odnosom  $a : b : c = 1,0803 : 1 : 1,8862$ . Za kemijsko istraživanje nije bilo dovoljno materijala, ali Sjögren punim pravom drži, da se taj mineral (prolektit) i u kemijskom pogledu odnosi jednako prema tri ostala člana humitne grupe, kao što se odnosi i u kristalografskom pogledu, pa mu zato daje kemijsku formulu  $Mg [Mg (F. OH)]_2 SiO_4$ .<sup>1)</sup>

To je prvi slučaj u povijesti mineralogije, da se na osnovi kristalografskih i kemijskih svojstava mogao predskazati opstanak nepoznata minerala, komu je čovjek već unaprijed tačno opisao njegova kristalografska i kemijska svojstva. A to je bilo moguće samo zbog toga, što su ta svojstva kao odražaj unutrašnje mineralove gradje medju sobom u najužoj vezi.

Jednako se tako može iz fizičkih svojstava zaključiti na kemijski sastav nekoga minerala; na pr. iz optičkih svojstava plagioklasa možemo zaključiti na njihovu kemijsku prirodu.

**104. Svi do danas poznati kemijski elementi nalaze se medju mineralima.** Tvari, od kojih su sastavljeni minerali, potiču iz nutrine Zemljine, iz magme (5,127). Sve su to razni kemijski elementi, koji se ili sami za sebe, samorodni, ili u međusobnim kemijskim spojevima pojavljuju kao minerali, što izgradjuju kamenu koru Zemljinu. I od onih nekih devedeset kemijskih elemenata (vidi tablicu na str. 394.), što ih čovjek danas pozna, nema ni jednoga, koji se ne bi nalazio medju mineralima. Neki su od tih elemenata jako rašireni u mineralima, a neki dolaze u vrlo malim količinama.

Američki petrograf *F. W. Clarke* daje vrlo zanimljive podatke o kemijskom sastavu kamene kore Zemljine, dakle i o kemijskom sastavu minerala, jer je kamena kora sastavljena od minerala (1). Zemlja kao svemirsko tijelo, kao kugla sastavljena je:

1. od uzdušne lupine ili atmosfere;
2. od vodene lupine ili hidrosfere;
3. od kamene lupine ili litosfere;
4. od jezgre ili pirosfere (barisfere).

Ako uzmemo po Clarke-ovom razlaganju, da je kamena lupina debela oko 10 engleskih milja = oko 16 kilometara, iznosi obim kamene lupine 1.633,000.000 engleskih kubičnih milja = 6.815,000.000 kubičnih kilometara. Obim hidrosfere računa Clarke na 1.261,000.000 kubičnih kilometara, a obim atmosfere, sveden na vodu kao jedinicu gustine, na 5,292.000 kubična kilometra. Ako uzmemo, da je specifična težina morske vode 1,03, a izvanje kamene lupine 2,5—2,7, onda je sastav poznatih izvanjih lupina Zemlje u procentima ovaj:

<sup>1)</sup> *C. Doelter*: Handbuch der Mineralchemie, Bd. II. H. 1., pag. 313. Dresden und Leipzig 1914.

uz spec. tež. kamene kore od 2,5	uz spec. tež. kamene kore od 2,7
atmosfera . . . . . 0,03	0,03
oceani (mora) . . . 7,08	6,53
kamena kora . . . . 92,89	93,39

1. j. okruglo 93% kamene kore i 7% oceana.

Da saznamo kemijski sastav oceana, moramo obaviti kemijsku kvantitativnu analizu oceanske vode. Po podacima *Dittmarovim*, koji se nalaze u izvještajima Challenger-ekspedicije, ima u 1 kg morske vode 37,37 g raznih soli. Te soli sastavljene su u postocima od:

NaCl . . . . .	77,75
MgCl <sub>2</sub> . . . . .	10,88
MgSO <sub>4</sub> . . . . .	4,74
CaSO <sub>4</sub> . . . . .	3,60
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> . . . . .	2,46
MgBr <sub>2</sub> . . . . .	0,22
CaCO <sub>3</sub> . . . . .	0,35
	100,00%

Prema tome sastavljena je morska voda (voda oceana) od:

Kisika, O . . . . .	85,79%
Vodika, H . . . . .	10,67
Klora, Cl . . . . .	2,07
Natrija, Na . . . . .	1,14
Magnezija, Mg . . . . .	0,14
Kalcija, Ca . . . . .	0,05
Kalija, K . . . . .	0,04
Sumpora, S . . . . .	0,09
Broma, Br . . . . .	0,008
Ugljika, C . . . . .	0,002
	100,00%

Želimo li saznati kvantitativni sastav Zemljine kamene kore, moramo podvrći kemijskoj kvantitativnoj analizi razne stijene, od kojih je ta kora sastavljena. Kako su svim stijenama ishodište eruptivne stijene, to je Clarke upotrijebio mnogobrojni kemijski analitički materijal raznih eruptivnih stijena, većinom iz Amerike, da iz njega sazna za kvantitativni sastav kore Zemljine, dakle i za sastav minerala. Ovdje ćemo navesti po Clarke-u niz kemijskih analiza od nekoliko stotina raznih eruptivnih stijena, da nam one pokažu, koji su elementi najviše zastupljeni u sastavu minerala (ili kore Zemljine):

	A	B	C	D	E	F	G	H
SiO <sub>2</sub> . . . . .	61,82%	61,89%	60,49%	60,66%	60,50%	59,80%	56,75%	58,59%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	15,71	15,73	16,08	15,46	14,36	14,65	14,90	15,04
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	1,81	3,18	2,47	2,74	3,35	4,99	4,58	3,94
FeO . . . . .	3,65	2,40	2,86	2,27	4,31	2,92	3,71	3,48
CaO . . . . .	4,51	4,58	6,15	4,71	3,52	5,19	5,79	5,29
MgO . . . . .	2,40	3,08	4,31	3,35	5,00	3,45	5,22	4,49
K <sub>2</sub> O . . . . .	3,54	2,70	1,80	3,97	2,52	3,06	2,90	2,90
Na <sub>2</sub> O . . . . .	3,28	3,70	3,31	3,54	2,49	2,98	3,24	3,20
H <sub>2</sub> O . . . . .	1,69	1,59	1,12	0,97	2,53	2,09	2,12	1,96
	98,48%	98,85%	98,59%	97,67%	98,58%	99,13%	99,21%	98,89%

A. srednja vrijednost od 82 analize vulkanskih stijena iz zapadnoga dijela Sjeverne Amerike. — B. srednja vrijednost od 64 analize vulkanskih stijena Yellowstone Parka. — C. srednja vrijednost od 39 analize vulkanskih stijena iz Kalifornije. — D. srednja vrijednost od 54 analize vulkanskih stijena sa zapada Sjeverne Amerike. — E. srednja vrijednost od 80 analize kristalastih stijena osnovnoga gorja sa raznih strana Sjeverne Amerike. — F. srednja vrijednost od 75 analize kristalastih i vulkanskih stijena sa raznih strana Evrope. — G. srednja vrijednost od 486 analize raznih kristalastih stijena iz Roth-ove zbirke analiza od godine 1879.—1883. — H. srednja vrijednost od svih gore navedenih 880 analiza.

Iz tih analitičnih podataka izračunate su ove količine pojedinih elemenata u postocima:

	A	B	C	D	E	F	G	H
Si . . . . .	28,88%	28,88%	28,23%	28,31%	28,23%	27,91%	26,50%	27,34%
Al . . . . .	8,31	8,32	8,51	8,18	7,57	7,75	7,89	7,96
Fe . . . . .	4,11	4,09	3,96	3,68	5,71	5,77	6,09	5,47
Ca . . . . .	3,22	3,27	4,39	3,37	2,51	3,71	4,13	3,78
Mg . . . . .	1,44	1,85	2,58	2,01	3,00	2,07	3,13	2,69
K . . . . .	2,94	2,24	1,49	3,29	2,09	2,54	2,41	2,41
Na . . . . .	2,43	2,74	2,46	2,63	1,85	2,21	2,56	2,37
H . . . . .	0,19	0,18	0,12	0,11	0,28	0,23	0,24	0,22
O . . . . .	46,96	47,28	46,85	46,09	47,28	46,94	46,26	46,65
	98,48%	98,85%	98,59%	97,67%	98,58%	99,13%	99,21%	98,89%

U ovim podacima o kvantitativnom kemijskom sastavu kamene kore nalaze se samo oni elementi, koji dolaze iznad 1% (izuzevši vodik). Da saznamo i količinu onih elemenata, koji se daju izraziti još u drugoj decimali, uzeo je Clarke čitav niz analiza raznih stijena, koje su analizirane u geološkom kemijskom laboratoriju Sjedinjenih Država Sjeverne Amerike u Washingtonu sve do godine 1904.; pa je dobio ove brojeve:

SiO <sub>2</sub> . . . . .	60,91%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	15,28
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	2,63
FeO . . . . .	3,46
CaO . . . . .	4,88
MgO . . . . .	4,13
K <sub>2</sub> O . . . . .	2,98
Na <sub>2</sub> O . . . . .	3,45
H <sub>2</sub> O . . . . .	1,90
TiO <sub>2</sub> . . . . .	0,73
ZrO <sub>2</sub> . . . . .	0,03
CO <sub>2</sub> . . . . .	0,53
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	0,26
S . . . . .	0,11
Cl . . . . .	0,07
F . . . . .	0,02
BaO . . . . .	0,11
SrO . . . . .	0,04
MnO . . . . .	0,10
NiO . . . . .	0,03
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	0,05
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	0,03
Li <sub>2</sub> O . . . . .	0,01
	101,74%

Do sličnih rezultata došao je kasnijim računanjem kemijskih analiza eruptivnih stijena i kristalastih škriljaca norveški mineralog *J. H. L. Vogt*, pa bi prema tome bio poprečni kvantitativni kemijski sastav kamene kore (ili minerala) uzevši u obzir samo one elemente, koji se daju izraziti još u četvrtoj decimali, ovaj:

	po Clarke-u:	po Vogt-u:	po Clarke-u:	po Vogt-u:
Kisik, O . . . . .	47,07	47,2	Mangan, Mn . . . . .	0,07
Silicij, Si . . . . .	28,06	28	Sumpor, S . . . . .	0,11
Aluminij, Al . . . . .	7,90	8	Barij, Ba . . . . .	0,09
Željezo, Fe . . . . .	4,42	4,5	Krom, Cr . . . . .	0,03
Kalcij, Ca . . . . .	3,44	3,5	Nikalj, Ni . . . . .	0,02
Magnezij, Mg . . . . .	2,40	2,5	Stroncij, Sr . . . . .	0,03
Kalij, K . . . . .	2,45	2,5	Litij, Li . . . . .	0,01
Natrij, Na . . . . .	2,43	2,5	Klor, Cl . . . . .	0,07
Titan, Ti . . . . .	0,40	0,33	Fluor, F . . . . .	0,02
Vodik, H . . . . .	0,22	0,17	Kositer, Sn . . . . .	0,00
Ugljik, C . . . . .	0,20	0,22	Brom, Br . . . . .	0,00
Fosfor, P . . . . .	0,11	0,09	Kobalt, Co . . . . .	0,00

Od svih poznatih elemenata tek su 24, kojih ima u tolikoj količini, da se mogu brojno prikazati bar u trećoj ili četvrtoj decimali. Elementi, koji dolaze u tako malim količinama, da im se postoci mogu prikazati tek u petoj i u daljnjim decimalama, nisu navedeni u gornjoj tablici.

Malo ima elemenata u kamenoj kori Zemljinoj, koji nadilaze 1%. To su u prvom redu kisik O i silicij Si, koji se pojavljuju u vrlo velikim količinama. Što su u organskoj prirodi ugljik C i vodik H, to su među mineralima kisik i silicij. Od metala najrašireniji je aluminij; zato su i minerali, koji imaju u svom sastavu kisika i aluminijska, jako rašireni.<sup>1)</sup> Iza aluminijska dolazi željezo Fe, pa kalcij Ca, magnezij Mg, kalij K, natrij Na, koji su stalni sastavci najvažnijih minerala (silikata), što izgradjuju kamenu koru Zemljinu. Ostali elementi pojavljuju se u kori Zemljinoj daleko ispod 1%.

I ako neki elementi dolaze u tako malim količinama, da ih kvantitativna kemijska analiza može prikazati tek u nekoj decimali, ipak uz onu golemu masu kamene kore, što omata jezgru Zemljinu, ima i tih elemenata u silnoj količini. Tako na pr. sumpora i fosfora ima svakoga u kori Zemljinoj tek 0,11%; ali ako uzmemo, da je kamena kora debela oko 16 km, iznosila bi količina sumpora i fosfora u toj kori oko 100 bilijona tona.

*Kisik*, koji je od svih elemenata najrašireniji tako, da zauzima gotovo polovicu svih ostalih elemenata, nalazi se najviše u onim dijelovima kamene kore, koji su na površini; prema dubljim dijelovima kamene kore on se nalazi u nešto manjoj količini. On je osobito važan pri kemijskim

<sup>1)</sup> To su u glavnom alumosilikati, od kojih samo glinenci (feldšpati) zapremaju u eruptivnim stijenama 59,5%. Od silikata najrašireniji su u eruptivnim stijenama amfiboli i pirokseni sa 16,8%; kremen, kao anhidrid kremenice kiseline, zastupljen je u tim stijenama sa 12%, biotit sa 3%, titanski minerali sa 1,5%, apatit sa 0,6%.

procesima, koji se vrše u kamenoj kori, te se u njegovom domašaju vrši oksidacija nekih elemenata (željeza, mangana, sumpora i t. d.).

Od elemenata, kojih ima u manjoj količini, dolazi *klor* većinom u morskoj vodi. On je dao materijal za razvitak sonih ležišta, pa i za njih se potrošilo vrlo malo klora. Ako zamislimo, da sva ležišta soli, koja su se tokom geologijskoga doba staložila, stvaraju oko čitave kugle zemaljske jednako debeo sloj, ne bi njegova debljina iznosila više od 5 m. A to znači, da se u toj količini sonih ležišta, uz debljinu kamene kore od 16 km, nalazi oko 0,015% Cl prema 2,07% Cl u morskoj vodi. Na 50—200 dijelova klora u morskoj vodi otpada jedan dio *broma* a oko 10—12 puta manje *joda* negoli *broma*. Isti odnos između ta tri elementa postoji i u kamenoj kori, pa zbog toga nalazimo bromnih i jodnih minerala spram klornih u vrlo maloj količini; u sonim ležištima bromni i jodni minerali od neznatne su važnosti. Negdje su se brom i jod spojili sa teškim metalima, naročito sa srebrom, pa stvaraju važne srebrne minerale, na pr. u rudnim žilama na zapadnim obalama Južne Amerike. *Sumpor* se nalazi u kamenoj kori većinom u formi sulfida i sulfata; njegov pratilac *selen* daleko za njim zaostaje tako, da je odnos između Se i S = 1:100.000. Zbog toga su selenovi minerali vrlo rijetki, a nalaze se najradije po rudnim žilama zlata, gdje se pojavljuje i *telur*, koji je takodjer jako rijedak element. *Fosfor* se nalazi najviše u apatitu, koji se raširio osobito po eruptivnim stijenama; u eruptivnim stijenama nalazimo većinom i *titanske minerale*. *Cirkonij* je vezan najviše za mineral cirkon, koji dolazi vrlo često u kiselim eruptivnim stijenama, ali redovito u malim količinama. *Germanij*, koji spada među vrlo rijetke elemente, ušao je u sastav nekih tantalata i nijobata. *Cer*, *itrij*, *lantan*, *tor* i njihovi srodnici nalaze se u nekim vrlo rijetkim mineralima, pa zato su i ti elementi u kamenoj kori vrlo rijetki. Cera i itrija ne će biti više od 0,001%, a tora od 0,0001%.

*Ugljik* dolazi u atmosferi u formi ugljične kiseline, a u kamenoj kori u formi karbonata, ugljikovih vodika i kamenoga uglja. *Kalij* i *natrij*, kojih ima ojednako, nalaze se najviše u glinencima (feldšpatima). *Litij* je vezan za neke minerale, koji dolaze u društvu *kasiterita* po granitskim stijenama; *rubidij* i *cezij* vrlo su rijetki; u morskoj vodi ima na pr. rubidija oko hiljadu puta manje negoli natrija, a cezija još manje. *Kalcij* ušao je najviše u sastav amfibola, piroksena, bazičnih glinenaca, karbonata i sulfata. *Barij* često dolazi, naročito u malim količinama, u stijenama, koje su sastavljene od glinenaca, zatim kao sulfat i karbonat; za njim znatno zaostaje *stroncij*, koji dolazi najviše kao sulfat i karbonat. Magnezij je glavni sastavak piroksena, amfibola, biotita, olivina, spinela, dolomita, magnezita. *Berilija* ima najviše u berilu, koji je sam za sebe rijedak mineral. *Željezo* dolazi većinom u bazičnim stijenama u formi sičikata i oksida, a tako isto i *mangan*. *Nikalj* je često sastavni dio olivina, ali u vanredno malim količinama

dolazi zatim u sulfidnim rudama, gdje zamjenjuje kadšto željezo i kobalt. *Kobalt* je pratilac niklovihi minerala, koji su dosta rijetki; to su većinom sulfidi i arsenidi. *Srebro*, *cinak*, *olovo*, *arsen*, *antimon*, *bakar*, *živa*, *zlato*, *platina* i t. d. nalaze se jako rašireni, ali u neznatnim količinama; ima ih i u morskoj vodi. Po *Sonnstandt-u* ima u jednoj toni morske vode 65 mg zlata, po *Münster-u* oko 20 mg srebra i 5 mg zlata; po *Liversidge-u* 30—60 mg zlata, a po *Don-u* 4,2—4,6 mg zlata. Ako računamo poprečno 5 mg zlata po toni vode ili po kubičnom metru, što odgovara količini od 0,000.000,5%, to bi bilo u morskoj vodi, koja iznosi 1.261,000.000 kubičnih kilometara, 6000 milijona tona zlata. Uz godišnju produkciju od 600 tona zlata dostajala bi ta količina za 10 milijona godina.

*Liversidge* je dokazao zlato i u kamenoj soli, gdje 1 tona soli sadržaje 60—120 mg zlata. Ali zlato se nalazi dakako i u eruptivnim stijenama, makar i u najneznatnijim količinama. Uz zlato dolaze i druge drage kovine. Tako je u kanadskim nikaljevitim pirotinima, koji se nalaze u gabroidnim stijenama, srebro, zlato i platina stalan sastavak. Na 100.000 dijelova nikla otpada 20 dijelova srebra,  $\frac{2}{3}$  dijela zlata i  $\frac{1}{8}$  dijela platine. Ako uzmemo, da je nikla bilo u magmi, iz koje se iskristalizovao gabro, 0,03%, pa da su ostali dragi metali bili u magmi u istom odnosu koncentrirani kao i nikalj, to je gabroidna magma sadržavala oko 0,00001% srebra, oko 0,0000001% zlata i oko 0,0000004% platine.

U kojem odnosu dolaze pojedini elementi, neka pokazuju ovi brojevi:

Oko 500 kisika: 1 sumpora; 10.000—100.000 sumpora: 1 selen. —  
Oko 500 natrija: 480 kalija: 1 litija:  $\frac{1}{2}$  rubidija. — Oko 5 klora: 1 fluora (u stijenama oko 2 klora: 1 fluora); oko 150 klora: 1 broma:  $\frac{1}{10}$  joda. —  
Oko 400 kalcija: 1 barija:  $\frac{1}{3}$  stroncija; oko 500 magnezija: 1 berilija. —  
Oko 1000 aluminija: 1 barija; oko 10.000 aluminija: 1 cera: 1 itrija. —  
Oko 65 silicija: 1 titana; oko 25 titana: 1 cirkonija. — Oko 25.000 silicija: 1 kositera. — Oko 60 željeza: 1 mangana; oko 300 željeza: 1 kroma; oko 500 željeza: 1 nikla; 10—15 nikla: 1 kobalta. Oko 500—2000 olova ili bakra: 1 srebra. — Oko 25—100 srebra: 1 zlata. — Oko 500—1000 cinka: 1 kadmija.

Neki elementi dolaze radije u kiselim, neki u bazičnim eruptivnim stijenama. U kiselim eruptivnim stijenama najviše ima silicija; zatim se tu okupljaju alkalijski metali, naročito kalij i litij, berilij, bor, metalni grupe cera i itrija, kositer, tor, cirkonij, tantal, nijob, fluor, volfram, uran. U bazičnim eruptivnim stijenama rado se okupljaju kalcij, nešto barij i stroncij, magnezij, aluminij, titan, fosfor, vanadij, sumpor, klor, krom, željezo, mangan, nikalj, kobalt, metali iz grupe platine. Od teških metala rado se okupljaju u kiselim eruptivnim stijenama kositer, volfram, uran, nijob i vjerovatno molibden, a u bazičnim eruptivnim stijenama okupljaju se u većim količinama željezo, mangan, nikalj, kobalt, krom, platina; ova zadnja četiri elementa najviše se okupljaju u peridotitima (te su stijene u našoj državi

jako rasprostranjene). Rado se okupljaju u bazičnim stijenama i cinak, olovo, arsen, antimon, bizmut, bakar, živa, srebro i zlato.<sup>1)</sup>

Tablica elemenata po rastućoj atomskoj težini.

Redni broj	Ime elementa	Simbol	Atomska težina	Redni broj	Ime elementa	Simbol	Atomska težina
1	Vodik . . . . .	H	1,008	47	Srebro . . . . .	Ag	107,88
2	Helij . . . . .	He	4,00	48	Kadmij . . . . .	Cd	112,4
3	Litij . . . . .	Li	6,94	49	Indij . . . . .	In	114,8
4	Berilij <sup>2)</sup> . . . . .	Be	9,1	50	Kositer . . . . .	Sn	118,7
5	Bor . . . . .	B	11,0	51	Antimon . . . . .	Sb	120,2
6	Ugljik . . . . .	C	12,0	52	Telur . . . . .	Te	127,5
7	Dušik <sup>3)</sup> . . . . .	N	14,01	53	Jod . . . . .	J	126,92
8	Kisik . . . . .	O	16,00	54	Ksenon . . . . .	Xe	130,2
9	Fluor . . . . .	F	19,0	55	Cezij . . . . .	Cs	132,81
10	Neon . . . . .	Ne	20,2	56	Bařij . . . . .	Ba	137,37
11	Natrij . . . . .	Na	23,00	57	Lantan . . . . .	La	139,0
12	Magnezij . . . . .	Mg	24,32	58	Cer . . . . .	Ce	140,25
13	Aluminij . . . . .	Al	27,1	59	Praseodim . . . . .	Pr	140,9
14	Silicij . . . . .	Si	28,3	60	Neodim . . . . .	Nd	144,3
15	Fosfor . . . . .	P	31,04	61	—	—	—
16	Sumpor . . . . .	S	32,06	62	Samarij . . . . .	Sm	150,4
17	Klor . . . . .	Cl	35,46	63	Europij . . . . .	Eu	152,0
18	Kalij . . . . .	K	39,10	64	Gadoliniij . . . . .	Gd	157,3
19	Argon . . . . .	A	39,88	65	Terbij . . . . .	Tb	159,2
20	Kalcij . . . . .	Ca	40,07	66	Disprozij . . . . .	Ds	162,5
21	Skandij . . . . .	Sc	45,1	67	Holmij . . . . .	Ho	163,5
22	Titan . . . . .	Ti	48,1	68	Erbij . . . . .	Er	167,7
23	Vanadij . . . . .	V	51,0	69	Tulij . . . . .	Tu	168,5
24	Krom . . . . .	Cr	52,0	70	Iterbij <sup>4)</sup> . . . . .	Yb	173,5
25	Mangan . . . . .	Mn	54,93	71	Lutecij . . . . .	Lu	175,0
26	Željezo . . . . .	Fe	55,84	72	Hafnij . . . . .	Ha	178 (?)
27	Nikalj . . . . .	Ni	58,68	73	Tantal . . . . .	Ta	181,5
28	Kobalt . . . . .	Co	58,97	74	Volfra <sup>5)</sup> m . . . . .	W	184,0
29	Bakar . . . . .	Cu	63,57	75	—	—	—
30	Cinak . . . . .	Zn	65,37	76	Osmij . . . . .	Os	190,9
31	Galij . . . . .	Ga	69,9	77	Iridij . . . . .	Ir	193,1
32	Germanij . . . . .	Ge	72,5	78	Platina . . . . .	Pt	195,2
33	Arsen . . . . .	As	74,96	79	Zlato . . . . .	Au	197,2
34	Selen . . . . .	Se	79,2	80	Živa . . . . .	Hg	200,6
35	Brom . . . . .	Br	79,92	81	Talij . . . . .	Tl	204,0
36	Kripton . . . . .	Kr	82,92	82	Olovo . . . . .	Pb	207,20
37	Rubidij . . . . .	Rb	85,45	83	Bizmut . . . . .	Bi	209,0
38	Stroncij . . . . .	Sr	87,63	84	Polonij . . . . .	Po	210 (?)
39	Itrij . . . . .	Y	88,7	85	—	—	—
40	Cirkonij . . . . .	Zr	90,6	86	Emanij <sup>6)</sup> . . . . .	Em	222
41	Nijobij . . . . .	Nb	93,5	87	—	—	—
42	Molibden . . . . .	Mo	96,0	88	Radij . . . . .	Ra	226,0
43	—	—	—	89	Aktinij . . . . .	Ac	226 (?)
44	Rutenij . . . . .	Ru	101,7	90	Torij . . . . .	Th	232,15
45	Rodij . . . . .	Rh	102,9	91	Protaktinij . . . . .	Pa	230 (?)
46	Paladij . . . . .	Pd	106,7	92	Uran . . . . .	U	238,2

<sup>1)</sup> F. Fenschlag, P. Kottin, J. H. L. Vogt: Die Lagerstätten der nutzbaren Mineralien und Gesteine, pag. 136. Stuttgart 1910. — H. Rosenbusch — A. Osann: Elemente der Gesteinslehre. Vierte Auflage, pag. 10. Stuttgart 1923. — J. H. L. Vogt: Ueber die relative Verbreitung der Elemente, besonders der Schwermetalle, und über die Konzentration des ursprünglich feinelementar verteilten Metallgehalts zu Erzlagerstätten. Zeit-

Tablica periodičkoga sistema elemenata:

1 H 1,008							2 He 4,00
3 Li 6,94	4 Be 9,1	5 B 11,0	6 C 12,00	7 N 14,01	8 O 16,00	9 F 19,0	10 Ne 20,2
11 Na 23,00	12 Mg 24,32	13 Al 27,1	14 Si 28,3	15 P 31,04	16 S 32,06	17 Cl 35,46	18 Ar 39,88
19 K 39,10	20 Ca 40,07	21 Sc 45,1	22 Ti 48,1	23 V 51,0	24 Cr 52,0	25 Mn 54,93	26 Fe 27 Co 28 Ni 55,84 58,97 58,68
29 Cu 63,57	30 Zn 65,37	31 Ga 69,9	32 Ge 72,5	33 As 74,96	34 Se 79,2	35 Br 79,92	36 Kr 82,92
37 Rb 85,45	38 Sr 87,63	39 Y 88,7	40 Zr 90,6	41 Nb 93,5	42 Mo 96,0	43	44 Ru 45 Rh 46 Pd 101,7 102,9 106,7
47 Ag 107,88	48 Cd 112,40	49 In 114,8	50 Sn 118,7	51 Sb 120,2	52 Te 127,5	53 J 126,92	54 Xe 130,2
55 Cs 132,81	56 Ba 137,37	Rijetke Zemlje		73 Ta 181,5	74 W 184,0	75	76 Os 77 Ir 78 Pt 190,9 193,1 195,2
79 Au 197,2	80 Hg 200,6	81 Tl 204,0	82 Pb 207,20	83 Bi 209,02	84 Po (210,0)	85	86 Em <sup>7)</sup> (222,0)
87	88 Ra 226,0	89 Ac (226)	90 Th 232,15	91 Pa (230)	92 U 238,2		

Rijetke Zemlje:

57 La 139,0	58 Ce 140,25	59 Pr 140,9	60 Nd 144,3	61	62 Sm 150,4	63 Eu 152,0	64 Gd 157,3
65 Tb 159,2	66 Ds 162,5	67 Ho 163,5	68 Er 167,7	69 Tu I 168,5	70 Yb 173,5	71 Lu 175,0	72 Tu II <sup>8)</sup> (178)

Uzevši u obzir kemijsku srodnost elemenata, koja je periodska funkcija njihovih atomskih težina, sastavio je god. 1869. ruski kemik *Dimitrije Mendeljejev* (i nezavisno od njega njemački kemik *L. Mayer*) periodički sistem elemenata, i na osnovi toga sistema predskazao je nekoliko nepoznatih elemenata, kojima je istakao kemijska i fizička svojstva. Bilo je naime davno poznato, da su izvjesni elementi medju sobom toliko slični, da stvaraju jednake kemijske spojeve ojednakih svojstava. Tako su na pr.

schrift für praktische Geologie, pag. 225. Berlin 1898. (jedan dio te studije preveden je na srpsko-hrvatski u Rudarskom Glasniku god. IV, pag. 114., god. V, pag. 193. Beograd, 1906., 1907.), — V. M. Goldschmidt: Geochemische Verteilungsgesetze der Elemente, I.—V. Kristiania (Oslo) 1923.—1925. — A. E. Ферсман: Химические элементы земли и космоса. Петербург 1923. — A. E. Ферсман: Геохимия России, I. Петроград 1922. — В. И. Вернадский: История минералов земной коры, I, 1. Ленинград 1925.

<sup>2)</sup> Ili glucinij Gl. <sup>3)</sup> Ili azot. <sup>4)</sup> Ili neoiterbij. <sup>5)</sup> Ili tungsten. <sup>6)</sup> Ili radon Rn. <sup>7)</sup> Ili Rn. <sup>8)</sup> Ili hafnij.

metali natrij i kalij srebrnasto bijeli, mekani, lako se oksidiraju i stvaraju sa svim kiselinama topljive soli, koje su i bojom i kristalnom formom a i drugim svojstvima slične. Metali litij, rubidij i cezij, koji su otkriveni kasnije od natrija i kalija, vrlo su slični kaliju i natriju. Njihove atomske težine postepeno rastu tako, da imamo ovaj niz: Li = 6,94, Na = 23,00, K = 39,10, Rb = 85,45, Cs = 132,81. Godine 1863. upozorio je engleski kemik, *John Newlands*, da se može zapaziti izvjesna pravilnost, ako se elementi poredjaju po njihovim atomskim težinama. Ta se pravilnost zapaža ako, preskočivši vodik, poredamo elemente tako, da prvi, osmi, petnaesti i t. d. elemenat dodju jedan pod drugoga, pa „da diferencija izmedju rednoga broja najnižega člana jedne grupe i rednog broja, koji stoji neposredno iznad rednoga broja onoga najnižega člana, iznosi 7. Drugim riječima: ako podjemo od izvjesnoga elementa, osmi je elemenat ponavljanje prvoga, kao što se ponavlja osma nota oktave u muzici“.

U našoj tablici poredani su elementi u horizontalne vrste i vertikalne kolone ili grupe zbog lakšega pregleda elemenata i njihove srodnosti. Od svakoga elementa uzet je njegov simbol, pred kojim se nalazi redni broj, koji označuje mjesto elementovo u periodičkom sistemu; ispod rednoga broja i simbola nalazi se atomska težina. Elementi slijede jedan za drugim po rastućoj atomskoj težini. Tek su na četiri mjesta susjedni elementi prebačeni i to argon  $\leftarrow$  kalij i kobalt  $\leftarrow$  nikalij; to se moralo učiniti kod kalija i argona s obzirom na njihova kemijska svojstva, a za kobalt i nikalij pokazuju ovakovo mjesto u periodičkom sistemu röntgenoskopska istraživanja; pet je mjesta u sistemu praznih; tu je mjesto do danas još neotkritih elemenata.<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> *W. Noddack i Ida Tacke* (Naturwissenschaften, 13. 567—574; 1925.) izračunali su prema rednim brojevima 43 i 75, kakova karakteristična svojstva moraju imati elementi, koji još nisu na tim mjestima poznati; za tim su nastojali da ih izoluju iz minerala: platične, osmiridija, sperilita, kolumbita, tantalita, volframita, ilmenita, rutila, vanadinita, gadolinita, fergusonita, monacita, cirkona, kasiterita, kromita, piroluzita, sfalerita i arsenovih ruda. Mislili su, da im je pošlo za rukom da dobiju iz kolumbita 0,5% elementa 43, i 5% elementa 75. Identifikovanje tih dvaju elemenata obavljeno je na osnovi Röntgenovoga spektra. Elemenat 43 nadjen je navodno još u malim količinama u sperilitu, gadolinitu i fergusonitu, a elemenat 75 u tantalitu i volframitu. Istraživači su nazvali elemenat 43 *mazurijem* (Masurium Ma; po Mazurskim Jezerima), a elemenat 75 *renijem* (Rhenij Rež po rijeci Rajni). Sva ta istraživanja o „mazuriju“ i „reniju“ nisu još toliko pouzdana da bismo napomenute elemente mogli smatrati sigurnima. Isto je tako i elemenat *ilinij* iz grupe rijetkih zemalja sa rednim brojem 61 nesiguran. Njega su našli američki kemici *Harris*, *Hopkins* i *Intem*, i, nezavisno od njih, talijanski kemici *L. Rolla* i *L. Fernandes* u oksidu didima, koga su dobili iz brazilskega monacitnoga pijeska; pomenuti talijanski kemici, nazvali su taj elemenat *florencij*, davši mu simbol Fr.

*I. G. F. Druce* (The Chemical News. Vol. CXXXI. No. 3420, pag. 273.) istraživao je kolumbit, ali nije našao u njemu tvari, koja bi odgovarala svojstvima elementa 43,

Poredjaj elemenata u kolonama (grupama) ističe srodnost njihovu. Elementi, koji mogu da u kemijskim spojevima lako zamijene jedan drugoga, na pr. u izomorfnim smjesama (110), nalaze se u istoj grupi. Takvi su, primjerice, alkalijski elementi Li, Na, K, Rb, Cs, zemljoalkalijski elementi Mg, Ca, Sr, Ba, grupa O, S, Se, Te, halogenski elementi F, Cl, Br, J, plemeniti plinovi Ne, A, Kr, Xe. Srodnost halogena pokazuje se u tome, što stvaraju jednake soli, na pr. NaF, NaCl, NaBr, NaJ, a isto tako srodnost alkalijska očituje se u njihovim solima, na pr. u kloridima LiCl, NaCl, KCl, RbCl, CsCl; srodnost zemljoalkalijska, što stvaraju na pr. karbonate MgCO<sub>3</sub>, CaCO<sub>3</sub>, SrCO<sub>3</sub>, BaCO<sub>3</sub>. Takvi spojevi uz sličan kemijski sastav imaju i slična kristalografska i fizička svojstva (110, 111); kristali jednoga takvog spoja mogu paralelno da rastu sa kristalima drugoga spoja, kao da su kristali jednoga istoga kemijskoga individua.

Ako posmatramo horizontalne vrste elemenata, zapaziti ćemo, kako se elementima periodički povraćaju slična svojstva, pa otuda i ime periodički sistem. Litij se odlikuje izvjesnim svojstvima, a sličnim se svojstvima odlikuje i natrij, kalij i t. d. Ako počnemo, na pr. od magnezija, povratit ćemo se doskora do kalcija, koji opet pokazuje slična svojstva, što ih ima magnezij. Kemijska srodnost pojedinih elemenata razabira se iz svake horizontalne vrste i s obzirom na *valenciju* ili *valjanost* elemenata, t. j. na onu osobinu, koja kaže, koliko se vodikovih atoma može vezati za neki atom drugoga kojega elementa. Podjimo od kojega plemenitoga plina, na pr. iz druge vrste od neona natrag, nać ćemo, da valencija elemenata postepeno raste i da su mogući ovi vodikovi spojevi:

Ne . . . . . uopće se ne spaja,  
F . . . . . HF fluorna kiselina,  
O . . . . . H<sub>2</sub>O voda,  
N . . . . . NH<sub>3</sub> amonijak,  
C . . . . . CH<sub>4</sub> metan.

Istu ćemo pojavu zapaziti, ako podjemo od prvoga elementa neke vrste napred, na pr. od Na prema Ne, pa posmatramo, koliko će se atoma nekoga elementa vezati za kisik; u tom slučaju dobit ćemo ove spojeve:

Ne . . . . . uopće se ne spaja,  
Na . . . . . Na<sub>2</sub>O natrijski oksid,  
Mg . . . . . MgO magnezijski oksid, periklas,  
Al . . . . . Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> aluminijski oksid, korund,  
Si . . . . . SiO<sub>2</sub> silicijski dioksid, kremen,  
P . . . . . P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> fosforni pentoksid,  
S . . . . . SO<sub>3</sub> sumporni trioksid.

ali je našao nešto više tvari, koja odgovara elementu 75, pa predlaže da se naziv renij za taj elemenat zadrži. Röntgenoskopska istraživanja dovela su uz elemenat 75 još i na eventualnu egzistenciju elementa 93, t. j. onoga, koji slijedi dalje iza urana.

Ovo tek nekoliko nabačenih primjera iz periodičkoga sistema elemenata pokazuje, kolika pravilnost postoji između elemenata i njihovih spojeva.<sup>1)</sup>

**105. Spajanje elemenata u novo tijelo vrši se po izvjesnim zakonima.** Vrlo malo ima minerala, koji su se razvili kao samородni elementi u svom elementarnom stanju. Takav je mineral na pr. dijamant C, sumpor S, zlato Au, bakar Cu, antimon Sb i t. d. Velika većina njih predstavlja kemijske spojeve dvaju ili više elemenata, na pr. pirit  $\text{FeS}_2$ , kalcit  $\text{CaCO}_3$ , granat  $\text{Mg}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$  i t. d. Kako će se kemijski elementi među sobom spojiti u novo tijelo, kako će se razviti kao mineral, stoji do njihove kemijske srodnosti i do fizičko-kemijskih prilika, u kojima se ti elementi nalaze. Pa kao što se kristalizacija minerala upravlja po izvjesnim zakonima, tako se i spajanje kemijskih elemenata u novo tijelo upravlja po izvjesnim zakonima. Iz kemijskih analiza pojedinih minerala možemo lako doći do zakona o međusobnom spajanju kemijskih elemenata. Taj zakon, kojega je našao između god. 1804.—1808. engleski kemik *John Dalton*, kaže, da se dva ili više kemijskih elemenata spajaju u novo tijelo po stalnim i višestrukim uteznim omjerima (zakon konstantnih i višestrukih proporcija).

Kad bismo podvrgli kemijskoj analizi na pr. kovelin  $\text{CuS}$  i bakarni sjajnik (halkozin)  $\text{Cu}_2\text{S}$ , našli bismo u kovelinu 33,56% sumpora i 66,44% bakra, a u bakarnom sjajniku 20,17% sumpora i 79,83% bakra. Iz te dvije analize možemo lako razabrati, u kojim su se uteznim omjerima spojili sumpor i bakar u jednom i drugom mineralu. Valja samo izračunati, koliko uteznih dijelova bakra u oba minerala (u oba kemijska spoja) otpada na jedan utezni dio sumpora. Ako obavimo taj račun, dobit ćemo za<sup>2)</sup>:

	kovelin	bakarni sjajnik
sumpor . . . . .	1	1
bakar . . . . .	1,97	3,95.

Na jedan utezni dio sumpora otpada dakle u kovelinu 1,97, a u bakarnom sjajniku 3,95 uteznih dijelova bakra. U bakarnom sjajniku spojilo se dakle uz istu množinu sumpora dva puta toliko bakra, koliko u kovelinu. I nigdje na svijetu ne možemo naći bakarnoga sjajnika ili kovelina, koji bi u nekim drugim omjerima imali spojen bakar sa sumporom. Ovdje se dakle element bakar spojio sa elementom sumporom po stalnim i višestrukim uteznim omjerima:  $\text{CuS}$  i  $\text{Cu}_2\text{S}$ ; dakle  $\text{Cu}:\text{Cu} = 1:2$ .

Možemo tu stalnost posmatrati i na bakarnim oksidima, tenoritu  $\text{CuO}$  i kupritu  $\text{Cu}_2\text{O}$ . Po kemijskoj analizi ima u tenoritu 20,14% kisika i

<sup>1)</sup> *William Ramsay*: Moderne Chemie, I. Teil, pag. 65. Zweite Auflage, Halle a.S. 1908. — *P. P. Ewald*: Kristalle und Röntgenstrahlen, pag. 3. Berlin 1923.

<sup>2)</sup> Do tih smo brojeva došli razdijelivši količinu sastavnih dijelova u oba minerala sa količinom njihova sumpora; dakle za kovelin  $33,56:33,56 = 1$ ;  $66,44:33,56 = 1,97$ ; za bakarni sjajnik  $20,17:20,17 = 1$ ;  $79,83:20,17 = 3,95$ .

79,86% bakra, a u kupritu 11,20% kisika i 88,80% bakra. Ako iz tih analiza izračunamo, koliko je uteznih dijelova bakra u tenoritu i kupritu vezano za jedan utezni dio kisika, naći ćemo za:

	tenorit	kuprit
kisika . . . . .	1	1
bakra . . . . .	3,96	7,92.

U kupritu sa istom množinom kisika vezalo se dva puta toliko bakra, koliko u tenoritu. I ovdje je stupio bakar u spoj sa kisikom po stalnim i višestrukim uteznim omjerima:  $\text{CuO}$  i  $\text{Cu}_2\text{O}$ ; dakle  $\text{Cu}:\text{Cu} = 1:2$ .

Ta zakonitost, koja vlada pri spajanju elemenata u neko novo tijelo, lijepo se razabira i iz kemijskih analiza manganskih oksidnih minerala, manganozita  $\text{MnO}$ , hausmanita  $\text{Mn}_3\text{O}_4$ , braunita  $\text{Mn}_2\text{O}_3$  i piroluzita  $\text{MnO}_2$ . Po kemijskoj analizi ima u:

	manganozitu	hausmanitu	braunitu	piroluzitu
kisika . . . . .	22,6	28,0	30,4	36,8
mangana . . . . .	77,4	72,0	69,6	63,2.

Ako izračunamo, koliko kisika u svakom ovom manganskom mineralu otpada na onu množinu mangana, koja je u manganozitu vezana za 1 utezni dio kisika, dobit ćemo<sup>1)</sup>:

	manganozit	hausmanit	braunit	piroluzit
kisika . . . . .	1	1,33	1,5	2
mangana . . . . .	3,42	3,42	3,42	3,42.

Iz ovih se brojeva vidi, da u hausmanitu ima kisika  $\frac{1}{3}$  više negoli u manganozitu, u braunitu  $\frac{1}{2}$ , a u piroluzitu 2 puta toliko, koliko u manganozitu. Ili ako uzmemo za ishodište množinu kisika i mangana u manganozitu, gdje na jedan kisik otpada jedan mangan, to će u hausmanitu na 4 kisika otpasti 3 mangana, u braunitu na 3 kisika 2 mangana, a u piroluzitu na 2 kisika 1 mangan:  $\text{MnO}$ ,  $\text{Mn}_3\text{O}_4$ ,  $\text{Mn}_2\text{O}_3$  i  $\text{MnO}_2$ .

Označimo li u nekom kemijskom spoju težine elemenata sa A, B, C...., to su množine, sa kojima ti elementi stupaju u kemijski spoj, uvijek jednake mA, nB, pC.... Koeficijenti mnp uvijek su racionalni i najviše mali brojevi. Ovaj stalni omjer, u kom se elementi međusobno spajaju, a koji se uvijek izražava racionalnim brojevima, stoji u potpunoj saglasnosti sa zakonom o racionalnom odnosu indeksa (22).

**106. Minerali se pojavljuju u prirodi kao različiti kemijski spojevi.** Razlog, da se pretežiti dio minerala pojavljuje u prirodi kao spoj dvaju ili više elemenata, imamo tražiti, kako smo kazali, u kemijskoj srod-

<sup>1)</sup> Do ovih smo brojeva došli najprije diobom mangana sa kisikom: manganozit  $77,4:22,6 = 3,42$ ; hausmanit  $72:28 = 2,57$ ; braunit  $69,6:30,4 = 2,28$ ; piroluzit  $63,2:36,8 = 1,71$ ; zatim diobom uteznoga dijela mangana u manganozitu (3,42) sa uteznim dijelovima mangana u sva četiri minerala; dakle  $3,42:3,42 = 1$ ;  $3,42:2,57 = 1,33$ ;  $3,42:2,28 = 1,5$ ;  $3,42:1,71 = 2$ .

nosti, koja postoji medju pojedinim elementima. Radi te kemijske srodnosti nastoje elementi da se spoje u novo tijelo, čim to samo prilike dopuste. Neki elementi i uz najpovoljnije prilike nemaju sposobnosti da stupe u spojeve s drugim elementima; oni se pojavljuju u prirodi sami za sebe, u *samorodnom ili elementarnom stanju*. Tako na pr. zlato Au dolazi rijetko kada u carstvu minerala spojeno kemijski sa kojim drugim elementom. Jednako se tako i platina Pt nerado spaja sa drugim elementima, pa se i ona u carstvu minerala nalazi većinom samorodna. Srebro Ag i bakar Cu razvili su se mjestimice u kori Zemljinoj u samorodnom stanju; ali oba ta elementa, naročito bakar, pokazuju već znatnu sposobnost spajanja sa drugim elementima, pa se oni pomalo spajaju nalazeći se u zgodnim prilikama, na pr. srebro sa sumporom, bakar sa sumporom ili sa kisikom i t. d. Kod nekih je elemenata ta osobina tako velika, da ih medju mineralima nalazimo vrlo rijetko u samorodnom (elementarnom) stanju. Željezo Fe, na pr., koga ima u kori Zemljinoj u golemim količinama, pojavljuje se jako rijetko i to u neznatnoj količini kao samorodan element. Njegova je sposobnost spajanja, na pr. sa kisikom, tako velika, da se ta dva elementa brzo sjedinjuju u nove spojeve, koji se pojavljuju kao razne željezne rude ili rudače. Velika većina elemenata, koji su glavni sastavci kamene kore, ne pojavljuju se uopće u samorodnom (elementarnom) stanju; oni su poznati samo u kemijskim spojevima. Tako se na pr. aluminij, kalcij, magnezij, kalij, natrij i t. d. nalaze u kori Zemljinoj kao sastavci mnogih minerala, ali samo kao kemijski spojevi.

Od svih elemenata, koji zalaze u kemijski sastav minerala, najrašireniji je kisik O. On se spaja sa raznim elementima u novo tijelo, koje zovemo *oksidom*. Proces, uz koji se vrši spajanje kisika sa nekim elementom u novo tijelo, zovemo *oksidacijom*. Bakar Cu na pr., koji se nalazi u prirodi mjestimice u velikim masama kao samorodan element, čim dodje u doticaj sa kisikom, uz zgodne će se prilike oksidirati, t. j. spojiti će se sa kisikom i prijeći će oksidacijom u bakarni oksid, u crvenu bakarnu rudu, kuprit Cu<sub>2</sub>O ili u crnu bakarnu rudu, tenorit CuO. Željezo će oksidacijom prijeći u željezni oksid, u crvenu željeznu rudu, hematit Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i t. d.

Oksidi su medju mineralima jako rašireni i okupljaju se kadšto na nekim mjestima u silnim masama, kao na pr. hematit Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, magnetit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, kremen (kvarc) SiO<sub>2</sub>.

Oksidi nalazeći se kao minerali u kori Zemljinoj dolaze u doticaj sa vodom, koja je i sama oksid vodikov H<sub>2</sub>O, pa u povoljnim prilikama stupaju sa vodom u nove kemijske spojeve, u t. zv. *hidrokside* ili *hidrate*. Ti su hidroksidi ili hidrati spojevi pojedinih elemenata sa atomskom skupinom OH, koju zovemo *hidroksilom*. Hidroksil OH jest jednovaljan, a izvodimo ga iz vode HOH tako, da joj oduzmemo jedan vodik, te ostane skupina

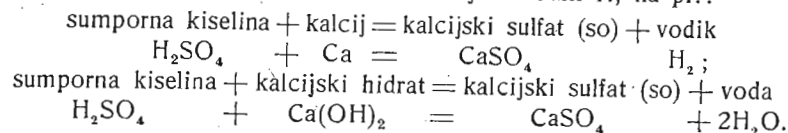
OH, koja sama za sebe ne može postojati, nego se spaja sa raznim elementima u hidrokside.

Kemijska priroda hidroksida zavisi o onom elementu, koji se spojio sa hidroksilom OH. Ako je element, koji se spojio sa hidroksilom OH, metalne prirode, kao što je na pr. natrij Na, kalij K, kalcij Ca, magnezij Mg i t. d., onda hidroksid ili hidrat ima osobine baze, pa se i zove *bazom*; vodene otopine baza reaguju bazično, t. j. crveni lakmusov papir od njih pomodri; tu reakciju izaziva slobodan hidroksilni ion OH'. Na pr. natrijska lužina NaOH otopljena u vodi reaguje bazično, jer se u vodi disocira u ion Na' i ion OH':  $\text{NaOH} \rightleftharpoons \text{Na}' + \text{OH}'$ .

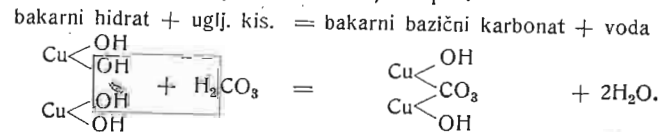
Spaja li se hidroksil OH sa elementom, koji nije metalne prirode, kao što je na pr. sumpor S, ugljik C, dušik N, silicij Si, bor B i t. d., postaje hidroksid, koji ima osobine *kiseline*. Kiseline reaguju kiselo, t. j. modri lakmusov papir od njih pocrveni; tu reakciju izaziva slobodan vodikov ion H'. Na pr. dušična kiselina HNO<sub>3</sub> reaguje kiselo, jer se u vodi disocira u ion H' i ion NO<sub>3</sub>':  $\text{HNO}_3 \rightleftharpoons \text{H}' + \text{NO}_3'$ .

Neki se minerali pojavljuju u prirodi kao baze, a neki kao kiseline. Tako je na pr. mineral brucit magnezijski hidrat Mg(OH)<sub>2</sub>, dakle baza, a sasolin borni hidrat B(OH)<sub>3</sub>, dakle kiselina.

Kada kiseline dodju u doticaj sa kojim metalnim elementom na pr. sa kalcijem Ca, magnezijem Mg i t. d., ili sa bazom na pr. sa Ca(OH)<sub>2</sub>, Mg(OH)<sub>2</sub>, spajaju se u nove kemijske spojeve, koje zovemo *solima*. Te će soli postati, kad u kiselini neki metal zamijeni vodik H, na pr.:



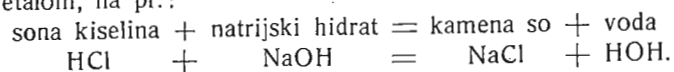
Zamijenimo li u kiselini sav vodik metalom, postaje *neutralna so*; na pr. H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> daje sa natrijem Na neutralnu so Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Ostane li u kiselini jedan dio vodika H nezasićen, postaje *kisela so*; na pr. ako u H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ne zasiti (ne zamijeni) natrij Na sav vodik H, postaje kisela so NaHCO<sub>3</sub>. Ako u bazi, kad u doticaju sa kiselinom stvara so, ostane nezasićena još koja hidroksilna skupina OH, postaje bazična so, na pr.:



Kiseline, koje smo dobili spajanjem hidroksila OH sa elementom metalne prirode, imaju u svom sastavu stalno kisika. Ali ima i takvih kiselina, koje nemaju u svom sastavu kisika. To su neki plinoviti spojevi sa vodikom H — naročito HCl, HBr, HF, HJ i H<sub>2</sub>S — koji se u vodenoj otopini vla-



daju kao kiseline. I od njih postaju *solii*, kad se njihov vodik H zamijeni kojim metalom, na pr.:



Običaj je nazivati soli, koje imaju u sebi kisika, *oksisolima*, a spojeve metala sa halogenim elementima Cl, F, Br, J *haloidnim solima*.

Osim oksida, baza, kiselina i soli ima medju mineralima i drugih kemijskih spojeva. Tako će se neki elementi vrlo rado spajati sa sumporom S, stvarajući kemijske spojeve, *sulfide*.

U kori Zemljinoj naročito se rado spajaju sa sumporom teški elementi, na pr. olovo Pb, bakar Cu, željezo Fe, kobalt Co, nikalij Ni i t. d. pa se sulfidi tih metala znadu razviti negdje u velikim količinama. Ali i sulfide možemo smatrati solima kiseline H<sub>2</sub>S, plina sumpornoga vodika, koji u vodenoj otopini ima kiselu svojstva.

Neki minerali, oni iz familije sinjavaca, pojavljuju se u takvim kemijskim spojevima, koje možemo shvatiti kao *sulfosoli*, t. j. kao soli neke hipotetične kiseline, u kojoj je kisik zamijenjen sumporom, pa se zato takva kiselina i zove *sulfokiselinom*. Kad se u takvoj sulfokiselini zamijeni vodik sa nekim metalom, postaje sulfoso. Sulfokiseline nisu poznate u slobodnom stanju same za sebe, nego samo u njihovim solima. Enargit Cu<sub>3</sub>AsS<sub>4</sub> jest na pr. bakarna sulfoso hipotetične sulfokiseline H<sub>3</sub>AsS<sub>4</sub>, gdje je H zamijenjen sa Cu; prustit Ag<sub>3</sub>AsS<sub>3</sub> jest srebrna sulfoso hipotetične sulfokiseline H<sub>3</sub>AsS<sub>3</sub>, gdje je H zamijenjen sa Ag; galenobizmutit PbBi<sub>2</sub>S<sub>4</sub> je sulfoso hipotetične sulfokiseline H<sub>2</sub>Bi<sub>2</sub>S<sub>4</sub>, gdje je H zamijenjen sa Pb i t. d.

Po koji mineral pojavljuje se i kao spoj, za koji se mora držati, da je postao udruženjem dvaju ili više različitih kemijskih spojeva. To su *molekularni spojevi*, gdje su molekule različitih mineralnih tvari djelovanjem molekularnih (kristalizacionih) sila stupile u medjusoban spoj; oni su sastavljeni od dijelova, za koje se čini, da ne predstavljaju slobodnih valencija. Takav je na pr. molekularni spoj sa tri različite vrste molekula karnalit KCl.MgCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O, kalijski alaun K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>.24H<sub>2</sub>O. Na osnovi mjerenja topline, koja se razvija kod izvjesnog kemijskog spoja, mogao je *Thomsen* dokazati za kalijski alaun, da nije kemijski spoj, jer pri sastanku otopine K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> i Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, ne dolazi do primjetljivoga razvitka topline, što bi se moralo dogoditi, kad bi ta dva spoja stupila u jedan kemijski spoj. U izmiješanim koncentrovanim otopinama obih sulfata nalaze se oni svaki za sebe, slobodni. Tek kad započne kristalizacija sjedinjuju se molekule jednoga i drugoga sulfata i svrstavaju se u pravilne nizove, a u tom času zalaze medju njihove molekule i molekule vode, pa tako istom pri kristalizaciji dolazi do spoja, koji zovemo molekularnim, jer su sve tri tvari medju sobom vezane molekularno a ne atomski. Takve molekularne spojeve možemo shvatiti i kao *dvosoli*; njihovi pojedini spojevi vjerojatno

su se udružili u jedan spoj tek prigodom kristalizacije. Medju dvosoli ili medju molekularne spojeve spada na pr. dolomit CaCO<sub>3</sub>.MgCO<sub>3</sub>, tremolit CaMgSi<sub>2</sub>O<sub>6</sub>.Mg<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub>, apatit Ca<sub>3</sub>P<sub>2</sub>O<sub>8</sub>.ClCa<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> ili kao kemijski spoj ClCa<sub>5</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>.

Od svih kemijskih spojeva najraširenije su medju mineralima oksisoli a medju njima soli kremične (silicijske) kiseline, silikati.

**107. Voda, koja se nalazi u mineralima, jest kristalna ili konstitucionalna.** Mnogi kemijski spojevi, koji se pojavljuju kao minerali, mogu u nekim prilikama primiti u svoj sastav izvjesnu količinu vode. Kalcijski sulfat na pr., ako se nalazi sam otopljen u vodi, iskristalizovat će se iz čiste vodene otopine kao gips, kao kalcijski sulfat sa dvije molekule vode CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O; ali ako je ta otopina zasićena još natrijskim ili kalijским kloridom ili još bolje sa oba klorida, iskristalizovat će se anhidrit, kalcijski sulfat bez vode CaSO<sub>4</sub>. Isto tako će se magnezijski sulfat iz čiste vodene otopine iskristalizovati kao gorka so, epsomit sa 7 molekula vode MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O, a iz otopine magnezijškoga sulfata, kojoj smo dodali na pr. magnezijškoga klorida, iskristalizovat će se kizerit, magnezijski sulfat sa jednom molekulom vode MgSO<sub>4</sub>.H<sub>2</sub>O. Iz čiste otopine natrijskoga sulfata kristalizuje se glauberova so, natrijski sulfat sa 10 molekula vode Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.10H<sub>2</sub>O; ako je u toj otopini natrijskoga klorida, kristalizuje se tenardit, natrijski sulfat bez vode Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Lako se možemo osvjedočiti, da ta voda nije u pomenutim spojevima čvrsto vezana. Uz jače ili slabije grijanje, mineral će tu vodu izgubiti, ali je može opet i primiti. Gips će na pr. izgubiti polovicu svoje vode, ako ga grijemo uz temperaturu od 125° C; ako ga grijemo uz temperaturu od 190° C, izgubit će svu vodu, ali nakvasimo li ga vodom, za nekoliko će dana primiti opet istu količinu vode, koju je grijanjem kod 190° izgubio. Tek kad bismo ga žarili uz temperaturu iznad 190°, prešao bi u CaSO<sub>4</sub>, koji ne može više primiti vode, te se taj sprženi kalcijski sulfat vlada kao anhidrit.

Onu vodu, koju mineral otpušta grijanjem uz nisku temperaturu, zovemo *kristalnom vodom*; ona nije bitan sastavni dio samoga spoja, pa je on i opet lako primi u istoj količini, ako ga samo nismo izvrgli prevelikoj temperaturi.

Kadikad već samim stajanjem u suhom uzduhu odvaja se kristalna voda iz minerala, pa se tada prevlači mineral mutnom prevlakom; kad izgubi znatan dio svoje vode, raspada se mineral u sitan prah. To se lijepo može motriti na modroj i zelenoj galici, koje se raspadaju u bijeli prah, kad se nalaze u suhom uzduhu.

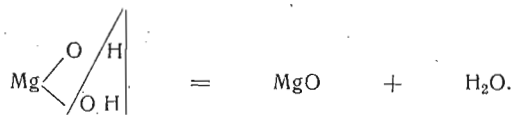
Kristalna voda nalazi se u mineralima molekularno uložena; molekularne (kristalizacione) sile, koje drže molekule mineralne tvari u pravilnom poredjaju, djeluju i na molekule vode, te se one pravilno svrstavaju izmed molekula mineralne tvari. U mineralima sa kristalnom vodom sastavljena je kristalna

molekula od glavne molekule mineralne tvari i od molekula vode, koje su uložene izmed molekula mineralne tvari.

Kristalna voda ne izlazi iz minerala, kad ga grijemo, postepeno, nego u skokovima. Spomenuli smo to već kod gipsa, kad smo naveli, da on gubi jednu polovicu vode kod 125° C, a drugu kod 190° C. Pri tom gubitku vode u skokovima prelazi mineral u nehomogenu mješavinu, u kojoj jedni dijelovi imaju više vode; drugi manje, a neki su uopće bez vode. Ali ima minerala sa vodom, gdje se ona postepeno gubi, a sa gubitkom vode mijenjaju se u mineralu i njegova fizička svojstva, na pr. eksponenti loma svijetla, dvolom, kut optičkih osi; mineral pri tom procesu ostaje stalno homogen. Kako smo postepenim grijanjem iz minerala vodu istjerali, tako možemo postići, da mineral vodu opet postepeno natrag primi, metnemo li mineral samo u atmosferu, koja je puna vodenih para. Voda, koja se na taj način gubi i vraća, a mineral pri tom procesu ostaje uvijek homogen, zove se *adsorpciona voda*. Medju mineralima ima naročito jedna familija, familija *zeolita*, koji imaju u sebi adsorpcione vode. I kristalna i adsorpciona voda, kada dolaze u nekom kemijskom spoju, dolaze uvijek u izvjesnim proporcijama, koje su za jednu te istu mineralnu vrstu stalne; ta voda dolazi u mineralu u nekom maksimumu, preko kojega nikako ne prelazi, te se da izraziti kemijskom formulom.

I kristalna i adsorpciona voda nalaze se u mineralu već gotove, kao H<sub>2</sub>O. Ali ima i takve vode, koja se u mineralu stvara tek za vrijeme, kad mineral žarimo kod visoke temperature. Tu vodu, koja se u mineralu tek stvara djelovanjem visoke temperature, zovemo *konstitucionom vodom*. Za razliku od kristalne vode, koja je u mineralu molekularno vezana, konstitucionu je voda vezana u spoju atomski, te je njegov bitni dio. Kad je žarenjem iz minerala istjeralo, on se kemijski raspadne i tu vodu ne može više da primi; ta je voda dakle dio mineralove konstitucije, pa joj odatle i ime.

Konstitucionu vodu dobivamo žarenjem hidroksida, na pr. žarenjem magnezijevskoga hidroksida, brucita Mg(OH)<sub>2</sub> ili žarenjem kiselih i bazičnih soli, na pr. žarenjem kiseloga bakarnoga ortosilikata, dioptasa H<sub>2</sub>CuSiO<sub>4</sub> ili bazičnoga bakarnoga karbonata, malahita CuCO<sub>3</sub>·Cu(OH)<sub>2</sub>. To su spojevi, gdje ima vodika i kisika kao hidroksila OH, koji se uz visoku temperaturu spaja u H<sub>2</sub>O, na pr.:



U nekim mineralima pojavljuje se voda i kao kristalna i kao konstitucionu. Tako će na pr. serpentin izgubiti jedan dio vode kod umjerena

grijanja, a drugi dio kod jakoga žarenja. Radi toga dobiva kemijsku formulu H<sub>2</sub>Mg<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub>·H<sub>2</sub>O<sup>1)</sup>. Stiva (morska pjena) iz Zagrebačke Gore kod Orešja Gornjeg gubi kod 107° C 12,02% H<sub>2</sub>O, a u visokoj temperaturi daljnjih 9,52%; ona dakle ima u svom sastavu i kristalne i konstitucione vode, pa joj je formula H<sub>4</sub>Mg<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>10</sub>·2H<sub>2</sub>O.

**108. Kemijski sastav minerala prikazujemo kemijskim formulama.** Atomi pojedinih elemenata vežu se prema svojim valencijama u molekule i stvaraju tako kemijske spojeve, koji se pojavljuju kao minerali. Način, kako su se u molekuli povezali atomi po svojim valencijama, zovemo *kemijskom strukturom* ili *konstitucijom*. Proučavajući kemijska svojstva minerala, ispitujući njihove kemijske reakcije, nastojimo saznati i njihovu konstituciju, koju običavamo prikazivati *kemijskim formulama*. Kemijsku formulu, koja bi imala predstaviti kemijsku strukturu ili kemijsku konstituciju minerala, zovemo *strukturnom (racionalnom) formulom*.

Ispitujući na pr. kemijska svojstva piritu FeS<sub>2</sub> i markazitu FeS<sub>2</sub>, dva minerala, koji su tvarno i u postocima posve jednaki, lako se možemo uvjeriti, da su atomi u molekuli jednoga i drugoga minerala različito po svojim valencijama vezani. Ako u zatvorenoj staklenoj cijevi otapamo prah markazita u otopini bakarnoga sulfata, možemo se pomoću kalijevskoga permanganata titracijom lako osvjedočiti, da se u markazitu spojilo sa sumporom sve željezo kao dvovaljan element (sa dvije valencije). Obavimo li isti pokus sa piritom, naći ćemo, da je samo jedna petina željeza kao dvovaljanoga elementa (sa dvije valencije, t. zv. fero-spoj) vezana za sumpor, dok su ostale četiri petine željeza vezane za sumpor kao trovaljani element (sa tri valencije, t. zv. feri-spoj). Prema tim reakcijama prikazujemo kemijsku konstituciju markazita i piritu ovom strukturnom formulom:



Osim strukturnih kemijskih formula služimo se i *empirijskim kemijskim formulama*. Empirijske formule predstavljaju spojne omjere pojedinih elemenata u kemijskom spoju, t. j. omjere, u kojima su se pojedini atomi spojili u molekulu. Tako na pr. predočujemo kemijski sastav piritu (i markazitu) kemijskom empirijskom formulom FeS<sub>2</sub>, koja kaže, da su se u molekuli piritovoj (i markazitovoj) spojili atomi željeza sa atomima sumpora u omjeru 1:2.

Do empirijske formule dolazimo iz podataka, što ih daje kvantitativna kemijska analiza. Preračunavanjem postotaka pojedinih elemenata možemo

<sup>1)</sup> F. Zambonini: Contributo allo studio dei silicati idrati. Atti della R. Accademia delle Scienze fis. e mat. di Napoli. Vol. XIV. Serie 2-a, No. 1.

Iako saznati, u kojem su se omjeru spojili pojedini elementi. Tako na pr. čisti kristali pirita imaju po kvantitativnoj kemijskoj analizi 46,66% željeza i 53,34% sumpora. Iz tih brojeva doći ćemo do spojnih omjera tako, da postotke sastavnih elemenata minerala, koji se nalaze u kvantitativnoj analizi, razdijelimo sa njihovom atomskom težinom. Atomska je težina željeza 55,84, a sumpora 32,06, dakle:

za željezo  $46,66 : 55,84 = 0,83$ ; za sumpor  $53,34 : 32,06 = 1,66$ .

Kvocijenti 0,83 i 1,66 kazuju omjer, u kom se nalazi vezano željezo i sumpor u piritu. Stavimo li najmanjemu od ovih kvocijenata, t. j. kvocijentu za željezo, da je jednak 1, dobit ćemo omjer željeza prema sumporu:

$$\begin{array}{l} \text{Fe} : \text{S} \\ \frac{0,83}{0,83} : \frac{1,66}{0,83} = 1 : 2. \end{array}$$

Empirijska dakle formula pirita jest  $\text{FeS}_2$ .

Potražiti ćemo empirijsku formulu još za nekoliko minerala. Kvantitativna kemijska analiza čista kovelina nalazi u njem 66,44% bakra i 33,56% sumpora. Razdijelimo li postotke sa atomskom težinom ( $\text{Cu} = 63,57$ ;  $\text{S} = 32,06$ ), dobit ćemo:

za bakar  $66,44 : 63,57 = 1,04$ ; za sumpor  $33,56 : 32,06 = 1,04$ .

U kovelinu je dakle vezan bakar sa sumporom u omjeru 1,04 : 1,04, što odgovara omjeru 1 : 1; empirijska je dakle formula kovelina  $\text{CuS}$ .

Bakarni sjajnik (halkozin) ima po kvantitativnoj analizi 79,83% bakra i 20,17% sumpora. Kvocijenti, što ih dobivamo iz tih postotaka i atomskih težina  $\text{Cu}$  i  $\text{S}$ , jesu:

za bakar  $79,83 : 63,57 = 1,25$ ; za sumpor  $20,17 : 32,06 = 0,62$ .

U bakarnom sjajniku vezan je dakle bakar sa sumporom u omjeru 1,25 : 0,62, što odgovara omjeru 2 : 1; empirijska dakle formula bakarnoga sjajnika jest  $\text{Cu}_2\text{S}$ .

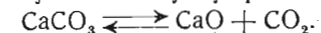
Gorka so, epsomit, ima po kvantitativnoj analizi 16,30%  $\text{MgO}$ , 32,50%  $\text{SO}_3$  i 51,20%  $\text{H}_2\text{O}$ . Računom tih procenata i (u ovom slučaju) molekularnih težina spojeva  $\text{MgO}$ ,  $\text{SO}_3$  i  $\text{H}_2\text{O}$  dobit ćemo ove kvocijente:

za  $\text{MgO}$   $16,30 : 40,42 = 0,40$ ; za  $\text{SO}_3$   $32,50 : 30,06 = 0,40$ ; za  $\text{H}_2\text{O}$   $51,20 : 18 = 2,84$ .

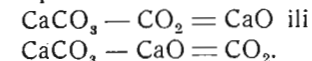
U epsomitu odnosi se  $\text{MgO} : \text{SO}_3 : \text{H}_2\text{O} = 0,40 : 0,40 : 2,84$ , što odgovara dosta tačno omjeru 1 : 1 : 7; dakle je empirijska formula epsomita  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .

U mineralogiji služimo se najviše empirijskim formulama. One su vrlo pregledne i jednostavne. Osobito mnogo služe, kad prikazujemo, kako teku kemijske reakcije pri raznim kemijskim procesima, kojima su izvrnuti minerali. Ako na pr. žarimo kalcit  $\text{CaCO}_3$ , on će se raspasti u kalcijski oksid  $\text{CaO}$  i ugljični dioksid  $\text{CO}_2$ .

Taj proces raspadanja ili disocijacije prikazat ćemo ovako:



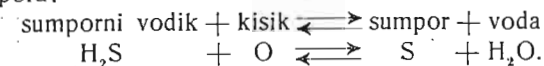
Strjelice  $\rightleftharpoons$  znače, da proces može teći na jednu ili na drugu stranu već prema prilikama, u kojima se kalcijski karbonat nalazi. Ako je temperatura iznad  $800^\circ$ , disocira  $\text{CaCO}_3$  i proces teče u znaku strjelice od lijeva na desno (kod nekih pokusa iznosi disocijaciona temperatura  $812^\circ$ — $825^\circ$ , a kod nekih  $910^\circ$ — $925^\circ$ ); ako je temperatura niska, proces teče u znaku strjelice od desna na lijevo i dolazi do stvaranja karbonata. Mogli bismo taj proces i ovako prikazati:



Mineral hematit  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , nalazeći se u doticaju vode  $\text{H}_2\text{O}$ , može prijeći u limonit  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ , i obrnuto: limonit može gubitkom vode da prijeđe u hematit:



Kad sumporni vodik dodje u doticaj sa kisikom, dolazi do kemijske izmjene, pri kojoj se stvara slobodan sumpor; takav proces možemo posmatrati na pr. u toplicama Iliđe kod Sarajeva, gdje se stvaraju znatne količine sumpora:



Pri tom se procesu zamijenio kisik sa sumporom. Kemijske su izmjene dosta česte u prirodi i one su uzrok mnogom postajanju minerala. Neka se sastanu negdje dvije mineralne otopine; otopina na pr. natrijskoga sulfata  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  i barijskoga klorida  $\text{BaCl}_2$ . One će pri svom sastanku stupiti u međusobne kemijske reakcije i doći će do kemijske izmjene, pri kojoj će se razviti natrijski klorid  $\text{NaCl}$ , koji je u vodi vrlo lako topljiv, i barijski sulfat, koji je u vodi vrlo teško topljiv:



Događa se kadikad, da kalcit  $\text{CaCO}_3$  dodje u doticaj sa otopinom željeznoga karbonata  $\text{FeCO}_3$ . I u tom će slučaju doći do kemijske izmjene, pri kojoj će kalcijski karbonat prijeći u otopljeno stanje, a željezni karbonat u čvrsto stanje:



Ima slučajeva da dodje među pojedinim kemijskim spojevima djelomice do kemijske izmjene, djelomice do kemijskoga raspadanja. Ako na pr. kalcijski karbonat  $\text{CaCO}_3$  dodje u doticaj sa sumpornom kiselinom  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , doći će do izmjene između  $\text{Ca}$  i  $\text{H}_2$  i do oslobađanja  $\text{CO}_2$  i  $\text{H}_2\text{O}$ , pošto ova zadnja dva spoja ne ulaze u međusoban spoj:



Atomi i atomske grupe, koje se pri kemijskim reakcijama mogu zamijeniti, jesu ekvivalentni; ako označimo ekvivalenciju znakom  $\sim$ , onda

je u našim primjerima  $S \sim O$ ,  $Na_2 \sim Ba$ ,  $Ca \sim Fe$ ,  $Ca \sim H_2$ ,  $CO_3 \sim SO_4$ . Ekvivalent Ba dva puta je veći od ekvivalenta Na; isto tako je ekvivalent Ca dvaput veći od ekvivalenta H.

**109. Ista mineralna tvar može se kristalizovati u više kristalnih klasa; polimorfni minerali.** Proučavajući kemijski sastav minerala može se čovjek namjeriti i na takve minerale, koji se po svojim geometrijskim i fizičkim svojstvima medju sobom posvema razlikuju, ali im je tvar, od koje su sastavljeni, ista tako, da kemijska analiza nalazi u njima isti postotni sastav. Takvi su minerali na pr. kalcit i aragonit, koji su sastavljeni od kalcijevoga karbonata  $CaCO_3$ . U kalcitu i aragonitu nalazimo kvantitativnom kemijskom analizom isti postotni sastav, t. j. jedan i drugi mineral ima 56%  $CaO$  i 44%  $CO_2$ . Ali dok su oba minerala tvarno posvema ista, te kvantitativnom kemijskom analizom<sup>1)</sup> ne možemo nikako razlikovati jedan mineral od drugoga, njihova su geometrijska i fizička svojstva posve različita tako, da su to dva različita minerala. Kalcit se naime kristalizuje u romboedrijskoj hemiedriji heksagonskoga sustava odlikujući se svojim zasebnim svojstvima, koja su vezana za njegovu unutrašnju gradju, a aragonit se kristalizuje u holodriji rompskoga sustava sa fizičkim svojstvima, koja su drugačija negoli u kalcita. Tek na osnovi geometrijskih i fizičkih svojstava možemo upoznati kalcit i aragonit kao dva različita minerala. Ovakve minerale, koji imaju isti tvaŕni sastav i iste postotke tvaŕi, a pojavljuju se u različitim kristalnim formama sa različitim fizičkim svojstvima, zovemo *polimorfnim*<sup>2)</sup> *mineralima*, a samu tu pojavu *polimorfijom*; ako je mineral elemenat, pa se pojavljuje u različitim kristalnim klasama, kao što se na pr. ugljik C pojavljuje u tesimalnom sustavu kao dijamant, i u heksagonskom sustavu kao grafit, onda takav elemenat zovemo prema *Berzelius-u alotropnim*<sup>3)</sup>, a samu pojavu *alotropijom*.

Jedna te ista mineralna tvar, jedan te isti kemijski spoj, jedan te isti kemijski elemenat može se dakle pojaviti u prirodi u više kristalnih klasa i forma ili u više modifikacija i svaka se od tih modifikacija odlikuje svojim zasebnim geometrijskim, fizičkim, pa i nekim zasebnim kemijskim svojstvima; svaka je modifikacija svoje zasebne strukture, unutrašnje gradje. Da polimorfne modifikacije pokazuju i zasebna kemijska svojstva, zapažamo to kod nekih kemijskih reakcija. Tako na pr. piritov prah, kad ga nakvasimo vodom, ne reaguje nikako na modri lakmusov papir, a prah markazita, reaguje jako kiselo; grafit, kad ga polijemo dimljivom dušičnom kiselinom i kalijskim kloratom, pretvara se u grafitnu kiselinu, koja se pojavljuje u listićima zlatno žute boje, a dijamant uz iste reagencije ostaje nepromijenjen i t. d.

<sup>1)</sup> Pomoću kobaltne otopine  $Co(NO_3)_2$  može se razlikovati aragonit od kalcita.

<sup>2)</sup> Od grč. *polýs*, mnogo i *morphé*, oblik. <sup>3)</sup> Od grč. *állos*, drugačiji i *trópos*, smjer.

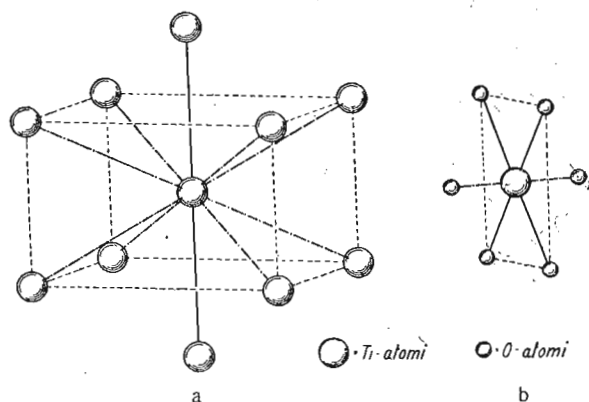
Polimorfan mineral pojavljuje se, kako rekosmo, u više kristalnih klasa; na pr. kalcit i aragonit, od kojih se jedan kristalizuje u romboedrijskoj hemiedriji heksagonskoga sustava, a drugi u holodriji rompskoga sustava. Ali polimorfan mineral može se razviti i u istoj kristalnoj klasi; u tom slučaju postoji svejedno razlika u kristalnim formama, jer svaka polimorfna modifikacija iste kristalne klase ima svoju zasebnu unutrašnju gradju, svoju strukturu, koja se očituje u zasebnim geometrijskim i fizičkim svojstvima. Tako se na pr. titanski dioksid  $TiO_2$  pojavljuje u tri modifikacije; kao mineral brukit razvio se u rompskom sustavu, ali ta ista tvar razvila se i u holodriji tetragonskog sustava i to u dvije modifikacije; jedna tetragonska modifikacija jest rutil sa odnosom osi  $a:c = 1:0,6439$  i sa specifičnom težinom 4,25; druga tetragonska modifikacija jest anatas sa osnim odnosom  $a:c = 1:1,1771$  i sa specifičnom težinom 3,9.

Polimorfne modifikacije različite su postojanosti; one mogu postojati samo u izvjesnim prilikama, kako su i postale samo u izvjesnim prilikama; na pr. one mogu postojati samo u izvjesnim granicama tlaka i temperature, gdje je moguća ravnoteža u njihovoj unutrašnjoj gradji. Čim budu te granice prekoračene, poremeti se ravnoteža u njihovoj unutrašnjoj gradji tako, da jedna modifikacija prelazi u drugu. Tako se na pr. leucit  $KAlSi_3O_8$  pojavljuje uz običnu temperaturu kao optički anizotropan mineral (50, 100), ali ako leucit grijemo uz temperaturu od 550°, prijeći će kod te temperature u tesimalni sustav. Čim padne temperatura ispod 550°, prelazi tesimalna modifikacija opet u optički anizotropnu modifikaciju. Ovakve polimorfne tvaŕi, koje mogu naizmjenice prelaziti iz jedne modifikacije u drugu, zovemo *enantiotropnima*. Ima i takvih polimorfni tvaŕi, koje mogu prijeći iz jedne modifikacije u drugu, ali iz te ne mogu više prijeći u onu prvu; takve polimorfne minerale zovemo *monotropnima*. Monotropna je tvar  $CaCO_3$ , koja se pojavljuje kao kalcit i aragonit. Aragonit, rompska modifikacija, nije stalan, pa grijanjem prelazi u kalcit, u romboedrijsku modifikaciju, a ta je postojana i ne može nikako prijeći u rompsku modifikaciju, u aragonit. Jednako je monotropna modifikacija ugljik C, jer dijamant, tesimalna modifikacija, prelazi kod visoke temperature u grafit, u heksagonsku modifikaciju, a ta je postojana i ne prelazi više u tesimalnu modifikaciju, u dijamant. Monotropna je polimorfna tvar  $FeS_2$ , jer markazit prelazi u pirit, ali pirit ne prelazi u markazit.

Uzrok pojavi polimorfije imamo tražiti u unutrašnjoj gradji kristala. Čestice jedne te iste mineralne tvaŕi mogu se pri kristalizaciji različito svrstati, da sagrade atomsku ili prostornu mrežu (36). Na koji će se način čestice svrstati, kakvu će atomsku mrežu sagraditi, stoji do onih prilika, u kojima se nalazi mineralna tvar za trajanja kristalizacije, za trajanja svrstavanja čestica u pravilne nizove. Katkada djeluje na taj poredaj temperatura (100), katkada tlak, katkada priroda i koncentracija otopine, iz koje

se mineralna tvar kristalizuje, katkada tudje tvarne primjesine, koje se nalaze u otopini zajedno sa onom tvari, koja se kristalizuje, a katkada djeluje i brzina kristalizacije i t. d. Tako će se na pr. iz vrele otopine kalcijskoga karbonata  $\text{CaCO}_3$  kristalizovati aragonit, a iz hladne otopine kalcit; ako hladnoj otopini kalcijskoga karbonata dodamo tudjih tvari, na pr. koju stroncijsku, barijsku ili olovnu so, ne će se kristalizovati  $\text{CaCO}_3$  kao kalcit nego kao aragonit. Ugljik C na pr., koji se nalazi otopljen u rastaljenom željezu, kristalizovat će se ohladjivanjem uz običan tlak, ako smo prije toga izvrgli željeznu taljevinu temperaturi od  $3000^\circ \text{C}$ , kao grafit, ali ako učinimo, da se ugljik ohladjuje u toj taljevini uz veliki tlak, nakon što je taljevina bila izvrgnuta temperaturi od  $3000^\circ \text{C}$ , kristalizovat će se on kao dijamant.

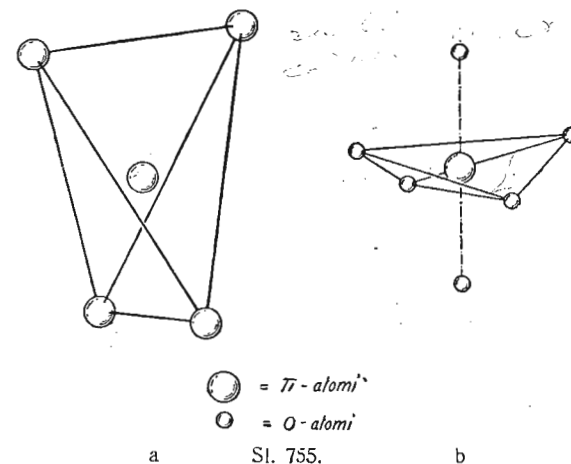
Da je poredaj čestica uzrok polimorfiji, dokazala su röntgenoskopska istraživanja nekih minerala, na pr. rutila i anatasa  $\text{TiO}_2$ . Atomi kisika tako su poredani u kristalu, da pripadaju jednako nekolikim atomima. U ravnini (110) rutila nalaze se oko svakog Ti-atoma četiri O-atoma u udaljenosti za  $1,90 \text{ \AA}$ <sup>1)</sup>. Okomito na tu ravninu nalaze se u nešto većoj udaljenosti dva O-atoma. Četiri O-atoma, koja su se nešto bliže okupila oko Ti-atoma, spajaju međusobno Ti-atome (sl. 754. a, b). Kod anatasa su se poredala četiri O-atoma oko Ti-atoma tako, da stvaraju splošteni bisfenoid. Kroz taj su bisfenoid opet dva O-atoma međusobno spojena; oba ta O-atoma leže u ravninama (001). Dakle i kod anatasa su se okupili 6 O-atoma oko Ti-atoma i to tako, da je smjerom glavne osi udaljenost O-atoma nešto veća (sl. 755. a, b).



Sl. 754.

Šematska gradja rutila; a poredaj Ti-atoma; b poredaj O-atoma oko jednoga Ti-atoma.

<sup>1)</sup>  $\text{\AA}$  (Ångström); vidi opasku na str. 88.



Sl. 755.

Šematska gradja anatasa; a poredaj Ti-atoma; b poredaj O-atoma oko jednoga centralnoga Ti-atoma.

Uz razne fizičko-kemijske prilike može se dakle neka mineralna tvar pojaviti u više kristalnih forma. Neke tvari pojavljuju se u dvije modifikacije, pa ih zovemo *dimorfnima*, neke u tri modifikacije, pa ih zovemo *trimorfnima*, a neke u više modifikacija, pa ih zovemo *polimorfnima*. Tako se na pr. cinkani sulfid  $\text{ZnS}$  razvio kao dimorfan mineral, jer se pojavljuje u teseralnom sustavu u tetraedrijskoj hemiedriji kao mineral sfalerit i u heksagonskom sustavu u hemimorfiji holodrije kao mineral vurcit; titanski dioksid  $\text{TiO}_2$  razvio se kao trimorfan mineral, jer se pojavljuje u rompskom sustavu kao brukit i u tetragonskom sustavu kao rutil i anatas, ali svaka od ove dvije modifikacije ima svoj zaseban osni odnos i svoja zasebna fizička svojstva; silicijski dioksid  $\text{SiO}_2$  razvio se u sedam modifikacija:  $\alpha$ -kremen,  $\beta$ -kremen,  $\alpha$ -tridimit,  $\beta$ -tridimit,  $\alpha$ -kristobalit,  $\beta$ -kristobalit i opal (amorfan). U kojoj će se modifikaciji pojaviti neka mineralna tvar, stoji, kako rekosmo, do fizičko-kemijskih prilika. Kako te prilike mogu biti različite, različit je i broj polimorfnih modifikacija; jedna te ista mineralna tvar mogla bi se zapravo prema tome razviti u neograničenom broju modifikacija, mogla bi doći u svim kristalnim razredima, kad bismo samo mogli doći do onih fizičko-kemijskih prilika, koje bi uzrokovale razvitak tih modifikacija.<sup>1)</sup>

Ovdje ćemo navesti (po Niggli-u) najvažnije polimorfne modifikacije minerala, da uočimo tako njihove kristalografske, fizičke i genetičke osobine:

<sup>1)</sup> P. Niggli: Lehrbuch der Mineralogie. Zweite Auflage, pag. 493. Berlin, 1924.

Tablica najvažnijih

Kemijski sastav	Ime minerala	Kristalni razred	Specifična težina
C	Grafit (crn)	Heksagonski, romboedrijska-hemiedrija.	2,1
	Dijamant (bezbojan).	Teseralno holodrijski (sa-tetraedrijskim izražajem).	3,5
S	Monoklinski sumpor (žut).	Monoklinski, holodrijski.	?
	Rompski sumpor (žut); osim toga još druge slabo poznate modifikacije;	Rompski holodrijski sa hemiedrijskim izražajem.	1,9—2,1
FeS <sub>2</sub>	Pirit (žut).	Teseralno, pentagonska hemiedrija.	5,027
	Markazit (žut).	Rompski holodrijski.	4,887
Cu <sub>2</sub> S	Teseralni bakarni sjajnik (halkozin), crnkasto olovno siv, često modro nahukan.	Teseralno holodrijski.	—
	Bakarni sjajnik (halkozin).	Rompski (pseudoheksagonski).	5,8
ZnS	Vurcit, većinom tamno smeđ.	Hemimorfija heksagonske holodrije.	oko 4
	Sfalerit, dijamantne sjajnosti, polumetalan, različite boje, kalavost po (110).	Teseralno, tetraedrijska hemiedrija.	3,9—4,2
HgS	Rumenica, crvena.	Heksagonski, trapezodrijska tetartoedrija.	8—8,2
	Metacinabarit, većinom crnkast, ? treća modifikacija.	? Teseralno, tetraedrijska hemiedrija.	7,8
Ag <sub>3</sub> SbS <sub>3</sub>	Pirargirit, crvenkast, olovno siv, relativno taman.	Heksagonski, hemimorfija trigonske hemiedrije.	5,8
	Pirostilpnit, žučkast, kao zumbul crven.	Monoklinski.	4,2—4,3 ?
Ag <sub>3</sub> AsS <sub>3</sub>	Prusit, crven, relativno svjetao.	Heksagonski, hemimorfija trigonske hemiedrije.	5,5—5,6
	Ksantokon, narančast.	Monoklinski.	5,54 ?
Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Valentinit, } bezbojan.	Rompski. Pseudoteseralan i teseralan.	5,57
	Senarmontit }		5,2—5,3
As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Klaudeit, } bezbojan.	Monoklinski. Teseralan.	3,85
	Arsenolit }		3,7

polimorfnih minerala.

Tvrđina	Odnosi u postojanosti	Uvjeti postajanja
0,5—1 10	Uz običan tlak grafit je postojaniji od dijamanta (dijamant je dakle monotropan prema grafitu. Ne zna se, da li dijamant postaje postojaniji kod vrlo visoka tlaka.	Dijamanti se dobivaju raspadanjem ugljikovih vodika iz taljevina, koje se nalaze pod tlakom.
?	Romp. sumpor $\xleftrightarrow{95,3^\circ}$ monok. sump. (1 atm.)	Iznad 95,3° postaje monoklinski sumpor; nakon duljeg vremena prelazi ohladjeni monoklinski sumpor u rompski.
2	Pojedine modifikacije postoje dosta dugo u području nepostojanosti. Ostale slabo istražene modifikacije potpuno su nepostojane uz običan tlak.	
6—6,5	Uz običan tlak kod svih temperatura pirit je stabilniji od markazita. Možda postoji i $\alpha$ -, $\beta$ -modifikacija pirit. Kod 500° prelazi markazit u pirit i iznad te temperature ne može postojati markazit. Uz običnu temperaturu raspada se markazit lakše od pirit.	Pri stvaranju FeS <sub>2</sub> iz otopina ferosulfata razvija se redukcijom uz temperaturu od 200° i 300°, već prema koncentraciji kiseline, ili pirit ili markazit ili oba minerala. Ako je koncentracija kiseline veća, razvija se radije markazit negoli pirit.
6—6,5		
—	Romp. Cu <sub>2</sub> S $\xleftrightarrow{91^\circ}$ teseralni Cu <sub>2</sub> S	Možda je dimorfija u skladu sa srodnim Ag <sub>2</sub> S (tes. srebrni sjajnik, romp. kao ? akantit). Mnogi su srebrni sjajnici uz običnu temperaturu pseudoteseralni.
2,5—3	U prirodi samo halkozin, koji je stabilan ispod 91°. Ako je u spoju S ili CuS kao čvrsta otopina, pretvorba je nešto teža.	
3,5—4	Sfalerit $\xleftrightarrow{1020^\circ}$ vurcit	Vurcit postaje osobito iz kiselih, sfalerit iz slabije kiselih do alkaljskih otopina uz temperaturu 200° do 400° i uz tlak.
3,5—4	Vurcit se kod visokih temperatura dulje drži.	
2—2,5	Uz običnu temperaturu rumenica je jedina stabilna forma.	Rumenica postaje iz alkaljskih, metacinabarit iz kiselih otopina.
?		
oko 2,5	Pirargirit je jedina stabilna forma uz običan tlak. Pirostilpnit je dakle monotropan i potpuno nestabilan.	Iz taljevine postaje samo pirargirit.
2,5		
oko 2,5	Prusit je jedina stabilna forma uz običan tlak.	Iz taljevine postaje samo prusit.
2,5		
2,5—3 2—2,5	Nepoznato.	Čini se, da obje modifikacije mogu postati iz otopine jedna uz drugu.
2,5—3 2—2,5		
1,5	Nepoznato.	Kao kod Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .

Kemijski sastav	Ime minerala	Kristalni razred	Specifična težina
SiO <sub>2</sub>	β, α- Kristobalit } β, -α Tridimit } β, -α Kremen } bezbojan.	Pseudoteseralan i teseralan.	2,33
		Pseudoheksagonski i heksagonski.	2,32
		Trapezodrijska tetartodrija heksagonskoga sust.	2,65
TiO <sub>2</sub> većinom željezom bojadisan.	Rutil, crveno smeđ, crn, opt. pozitivan.	Tetragonski, holodrija a : c = 1 : 0,6439.	4,2—4,3
	Anatas, žut, smeđ, modar, crn, opt. negativan.	Tetragonski, holodrija a : c = 1 : 1,1771.	3,83—3,95
	Brukite, crveno-smeđ, crn.	Rompski, holodrija.	3,87—4,07
CaCO <sub>3</sub>	Kalcit } Aragonit } Faterit } bezbojan.	Heksagonski, romboedrijska hemiedrija.	2,72
		Rompski, holod. (pseudoheksagonski).	2,9—3,0
		? Monoklinski.	
CaSiO <sub>3</sub>	Pseudovolastonit. Volastonit.	Pseudoheksagonski. Monoklinski.	2,9 2,8—2,9
Mg <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	Klinoenstatit — enstatit (augit). Kupferit — antofilit (rogovača).	Monoklinski — rompski.	3,17—3,19
		Monoklinski — rompski sa raznim odnosom osi.	2,86
Al <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub>	Silimanit } Andaluzit } Disten } bezbojan, andaluzit slabo pleohroitski.	Rompski, holodrijski.	3,25
		Rompski, holodrijski.	3,1—3,2
		Triklinski.	3,56—3,68
NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	Karnedžit. Nefelin.	Triklinski, holod. Heksagonski, hemimorf. piramid. hemiedrije.	2,5 2,62

Pojava polimorfije među mineralima nije se nikako slagala sa Haüy-ovim shvaćanjem kristalne strukture. Haüy je tvrdio, da jedna te ista mineralna tvar može da se razvije samo u jednoj osnovnoj kristalnoj formi. I to je njegovo shvaćanje bilo prihvaćeno općenito u nauci, jer se je do tada slagalo sa kemijskim i kristalografskim istraživanjima minerala, a i sam golemi autoritet Haüy-a u nauci teško je dopuštao drugo mišljenje. Ali došlo je do istraživanja dvaju minerala — aragonita i anatas — koja su iz temelja potresla onom Haüy-evom teorijom o stalnosti kristalne forme jedne te iste mineralne tvari. Naročito je tu bio od odsudnoga uticaja aragonit, čijim su se kemijskim sastavom i njegovim odnosom prema kalcitu bavili mnogi mineralozi i kemici; razvila se dugogodišnja prepirka, u kojoj su sudjelovali učenjaci velika glasa.

Aragonit, mineral, koji je nadjen u Spaniji, u provinciji Aragoniji, bio je u doba Romé de l'Isle i Haüy-a (konac XVIII. i početak

Tvrđina	Odnosi u postojanosti	Uvjeti postajanja
? 7 7	α-kremen $\xleftrightarrow{870^\circ}$ α-tridimit $\xleftrightarrow{1470^\circ}$ α-kristobalit, β-tridimit i β-kristobalit uz običan su tlak potpuno nepostojani.	Tridimit i kristobalit postaju iz pneumatolitskih (kiselih) otopina uz temperaturu nižu od 870° i tada su postojani.
6—6,5 5,5—6 5,5—6	U visokoj temperaturi uz običan tlak rutil je jedina stabilna forma.	Anatas i brukite postaju kao nepostojane faze kod temperature crvenila. Više temperature pogoduju stvaranju rutila. U prirodi se nalaze sva tri minerala jedan uz drugoga ili u najbližoj blizini.
3 3,5—4	Kalcit je uz običan tlak jedina postojana forma. Aragonit i faterit su monotropni. Iznad 400° prelazi aragonit lako u kalcit.	Pri izlučivanju stvara se često najprije aragonit i faterit, pa se onda pretvaraju u kalcit. Iz otopina, gdje se nalaze magnezijske soli, ali naročito kod visoke temperature, postaje aragonit.
? 4,5	Volastonit $\xleftrightarrow{1190^\circ}$ pseudovolastonit.	U prirodi je nadjen samo volastonit.
— —	MgSiO <sub>3</sub> stabilan je samo kao klinoenstatit ili enstatit.	Kristali mješanci rogovače vjerojatno su stabilniji od kristala mješanaca augita. Postaju pretežito uz hidrotermalne procese.
6,5—7 7—7,5 4,5—7	Andaluzit i disten prelaze kod visoke temperature u silimanit. Uz niže temperature sva tri su minerala postojana. Viridin, manganska modifikacija, razlikuje se od andaluzita samo optički.	Disten postaje u prirodi najradije djelovanjem tlaka.
— 5—6	Nefelin $\xleftrightarrow{1248^\circ}$ Karnedžit.	Iz taljevine iznad 1248° uvijek karnedžit. U prirodi su poznati kristali mješanci.

XIX. vijeka) već poznat. Werner ga je na osnovi kristalne forme odredio (1788.) kao apatit. Klaproth je (1788.) kemijski analizirao taj „aragonski apatit“ i našao je, da je sastavljen od istih tvari, od kojih i kalcit. Odmah je istakao, da oni šestorostrani kristali, što ih je Werner opisao, mogu biti samo promjene običnoga kalcita, ali te se promjene ne tiču kalcitovih sastavaka nego njegovih čestica. Tu je eto prvi put izrečena misao o polimorfiji, koja je uzrokovana strukturom kristala. Dakako da je kemijsko istraživanje aragonita dovelo do protuslovlja u Haüy-ovoj teoriji, pa se mnogi kemici tadašnjega doba bacili na kemijsko analiziranje aragonita sa raznih nalazišta, ne bi li možda našli, da su istraživanja Klaprothova pogrešna. Bili su to većinom francuski kemici i po koji njemački; u tom radu nalazi se De Fourcroy, Vauquelin, Thenard, Biot, Proust, Bucholz, Trommsdorff. Njihova su se istraživanja posvema slagala sa istraživanjem Klaprotha, pa neki od tih kemika, naročito Fourcroy i Vauquelin saglasiše se i

u teoretskom razlaganju sa Klapprothom. Haüy, da spasi svoju teoriju, iznio je kao uzrok različitoj formi aragonita nazočnost stroncija u aragonitu. U tom mu je mnogo pomogao njemački mineralog *Stromayer*, koji je god. 1813. izdao latinskim jezikom studiju „De aragonite ejusque differentia a spatho calcareo rhomboidali chemica.“ Stromayer je u toj studiji iznio čitav niz analiza raznih aragonita, iz kojih se razabiralo, da se u aragonitima redovito nalazi mala količina stroncijskoga karbonata. Na osnovi tih svojih analitičkih rezultata došao je Stromayer do ovoga zaključka: „Već i mala količina neke tvari, koja ima veliku kristalizaciju, može tako uticati na druge tvari, s kojima se kemijski spaja, da im daje onu formu, koja je njoj bitna.“ Čim je Stromayerova studija izašla, počela je ponovice većom žestinom prepirka između pristalica i protivnika Haüy-ove teorije. U isto doba dokazao je *Laugier*, *Bucholz* i *Meissner* kemijskim analizama, da ima i takvih aragonita, koji nemaju u svom sastavu stroncija, ali je *Laugier* tvrdio, da se aragoniti bez stroncija u nekim svojim osobinama drugačije vladaju od aragonita sa stroncijem.

Ovu je prepirku dokrajčio god. 1821. švedski mineralog *Mitscherlich*, koji je nepobitno dokazao, da postoji polimorfija tvari, da se jedna te ista tvar, bila ona kemijski spoj ili elemenat, može pojaviti u različitoj kristalnoj formi. *Mitscherlich* je vještačkim načinom dobio kristale mononatrijskoga fosfata  $H_2NaPO_4 \cdot H_2O$  u dvije modifikacije, jedna se modifikacija kristalizuje u rompskoj holodriji sa osnim odnosom  $a:b:c=0,8170:1:0,4998$ , druga modifikacija u rompskoj hemimorfiji (?) sa osnim odnosom  $a:b:c=0,9336:1:0,9624$ . Od to doba otkrila je nauka čitav niz polimornih modifikacija, koje su proučavanje s obzirom na njihova geometrijska, fizička i kemijska svojstva, pa se saznalo, da je uzrok polimorfiji u unutrašnjoj gradnji kristala. Naročito *Laue*-ovim otkrićem, da se struktura kristala daje proučavati pomoću Röntgenovih zraka, pojava je polimorfije postala mnogo jasnija. Nije ona svejedno pokolebala Haüy-ovu teoriju, jer i ako može neka mineralna tvar da se pojavi u različitim kristalnim formama, ne može to da se pojavi neka mineralna vrsta; svaka mineralna vrsta ima svoje stalne kristalne forme, od kojih ona ne odstupa, pa razvijala se uz koje mu drago prilike; ili još tačnije: svako tijelo izvjesnoga kemijskoga sastava ima uz izvjestan temperaturni interval samo jednu stabilnu formu. I u polimorfiji pokazala se Haüy-eva teorija neoborivom, t. j. da su sva kristalografska i fizička svojstva minerala zavisna o njegovoj strukturi, o njegovoj unutrašnjoj gradnji.<sup>1)</sup>

**110. Minerali, koji su po svom kemijskom sastavu medju sobom slični, pojavljuju se i u sličnim kristalnim formama; izomorfni minerali.** Kod polimorfije smo vidjeli, kako se ista mineralna tvar, istoga postotnoga sastava može razviti u različitim kristalnim formama. Ali medju mineralima ima i takovih slučajeva, gdje se različite mineralne tvari, koje su sličnoga kemijskoga sastava, slične kemijske konstitucije, kristalizuju i

<sup>1)</sup> *A. Arzruni*: Physikalische Chemie der Krystalle, pag. 22. Braunschweig 1893.  
— *P. Groth*: Einleitung in die chemische Krystallographie, p. 11. Leipzig 1904.

u sličnim kristalnim formama, u istom kristalnom razredu. Tako je na pr. mineral *cerusit* sastavljen od olovnoga karbonata, koji ima empirijsku formulu  $PbCO_3$ ; posve sličan kemijski sastav, kemijsku konstituciju, ima i mineral *stroncijanit*, koji je sastavljen od stroncijskoga karbonata sa empirijskom formulom  $SrCO_3$ . Oba su minerala, kako vidimo, slične kemijske konstitucije, pa ako im istražujemo kristalografske forme, vidjet ćemo, da su i u tim formama jako slični: oba se minerala kristalizuju u holodriji rompskoga sustava, sa plošnim kutovima, koji se međusobno približuju tako, da je odnos osi  $a:b:c$  *cerusita* i *stroncijanita* vrlo bliz, te se oba minerala razvijaju u kristalima slična habita; kut, što ga tvore medju sobom plohe prizme (110):(1 $\bar{1}$ 0), iznosi kod *cerusita*  $62^\circ 46'$ , a kod *stroncijanita*  $62^\circ 41'$ ; zato se kod *cerusita* odnose osi  $a:b:c=0,6102:1:0,7232$ , a kod *stroncijanita*  $a:b:c=0,6090:1:0,7237$ . Ovakve minerale, koji uz sličan kemijski sastav imaju i slične kristalne forme, zovemo *izomorfima*<sup>1)</sup>, a samu pojavu *izomorfijom*.

Kemijska sličnost izomornih minerala ističe se u istom broju atoma i istoj valjanosti (valenciji) atoma izomornoga spoja, kao na pr. kod izomorne grupe romboedrijskih karbonata *kalcita*  $CaCO_3$ , *rodohrozita*  $MnCO_3$ , *siderita*  $FeCO_3$ , *magnezita*  $MgCO_3$  i *smitsonita*  $ZnCO_3$ ; ili kod grupe *barita*  $BaSO_4$ , *celestina*  $SrSO_4$  i *anglezita*  $PbSO_4$ . Gdje se kemijska sličnost izomornoga minerala zapaža u istom broju atoma, ali je zbroj valjanosti tih atoma različit; to se vidi na pr. kod *pirita*  $FeS_2$  i *smaltina*  $CoAs_2$ , koji su medju sobom izomorfni, ali dok je željezo  $Fe$  i kobalt  $Co$  iste valjanosti, dotle je sumpor  $S$  i arsen  $As$  različite valjanosti. Ima i takvih slučajeva, gdje je u izomornim mineralima zbroj valjanosti atoma isti, ali je broj samih atoma različit; takvi su izomorfni minerali na pr. *galenit*  $PbS$  i *argentit*  $Ag_2S$ , gdje u molekuli *galenit*tovoj ima dva atoma, a u molekuli *argentit*tovoj tri atoma, dok je zbroj valjanosti u jednoj i drugoj molekuli isti, t. j. = 4:



Kod nekih izomornih minerala postoji kemijska sličnost i onda, kad je broj atoma isti, ali je valjanost atoma nejednaka, što se lijepo razabira kod *kalcita*  $CaCO_3$  i *natrijske salitre*  $NaNO_3$ , koji su minerali izomorfni; ali ako uzmemo, da je u *salitri* dušik petorovaljan, to je onda u ta dva minerala i broj atoma (pet) i zbroj valjanosti (dvanaest) jednak, makar su atomi različite valjanosti. Potpunu izomorfiju nalazimo i kod spojeva, kakvi su na pr. *plagioklasi*, gdje je *albit*  $NaAlSi_3O_8$  izomorfan sa *anortitom*  $CaAl_2Si_2O_8$ ; zbroj je valjanosti atoma u molekuli jednoga i drugoga minerala jednak (trideset i dva):

<sup>1)</sup> Od grč. *isos*, isti, jednak, *morphe* oblik.





Sličnost u kemijskom sastavu i kristalnim formama izomorfnih minerala ima dakako svoj uzrok u unutrašnjoj gradnji, koja je kod njih slična, pa su prema tome njihova geometrijska, fizička i kemijska svojstva medju sobom slična. Sa kalcitom je izomorfan na pr. rodohrozit, siderit, magnezit i smitsonit, pa ta grupa izomorfnih minerala ima i slična geometrijska, fizička i kemijska svojstva:

a. geometrijska svojstva:

kalcit CaCO <sub>3</sub>	heksagonski, romboed. hemied.	a : c = 1 : 0,8543
rodohrozit MnCO <sub>3</sub>	" "	a : c = 1 : 0,8259
siderit FeCO <sub>3</sub>	" "	a : c = 1 : 0,8191
magnezit MgCO <sub>3</sub>	" "	a : c = 1 : 0,8095
smitsonit ZnCO <sub>3</sub>	" "	a : c = 1 : 0,8062.

b. fizička svojstva: svi su jakoga dvoiloma, optički negativni; kalaju se smjerom osnovnoga romboedra.

c. kemijska svojstva: svi se otapaju vrlo lako što u hladnim, što u vrućim kiselinama.

Izomorfija je medju mineralima jako raširena, pa neki minerali stvaraju čitave izomorfne nizove. U teseralnom sustavu poznata je izomorfna grupa pirita, koja stvara ovaj izomorfan niz:

pirit FeS <sub>2</sub>	pentagonska-hemiedrija, kristalni-habit	{102}, {100}
smaltin CoAs <sub>2</sub>	" "	{102}, {100}
kloantit NiAs <sub>2</sub>	" "	{102}, {100}
sperilit PtAs <sub>2</sub>	" "	{102}, {100}
laurit RuS <sub>2</sub>	" "	{111}, {100}
kobaltin <sup>1)</sup> CoAsS	" "	{102}, {100}
gersdorfit NiAsS	" "	{111}, {100}.

U tetragonskom sustavu nalazimo ove izomorfne grupe i nizove:

šelit CaWO <sub>4</sub>	tetragonski	a : c = 1 : 1,5268
vulfenit PbMoO <sub>4</sub>	" "	a : c = 1 : 1,5777
štolcitet PbWO <sub>4</sub>	" "	a : c = 1 : 1,5606
rutil TiO <sub>2</sub>	tetragonski	a : c = 1 : 0,644154
cirkon ZrO <sub>2</sub> .SiO <sub>2</sub>	" "	a : c = 1 : 0,640373
torit (oranžit) ThO <sub>2</sub> .SiO <sub>2</sub>	" "	a : c = 1 : 0,6402
kasiterit SnO <sub>2</sub>	" "	a : c = 1 : 0,67232
polijanit MnO <sub>2</sub>	" "	a : c = 1 : 0,66467
platnerit PbO <sub>2</sub>	" "	a : c = 1 : 0,67643.

U heksagonskom sustavu nalazimo u izomorfnim nizovima ove minerale:

arsen As	romboedrijska hemiedrija	a : c = 1 : 1,4025
antimon Sb		a : c = 1 : 1,3236
bizmut Bi		a : c = 1 : 1,3035
telur Te		a : c = 1 : 1,3298
prustit Ag <sub>3</sub> AsS <sub>3</sub>	hemimorfija trigonske hemiedrije	a : c = 1 : 0,8038
pirargirit Ag <sub>3</sub> SbS <sub>3</sub>		a : c = 1 : 0,7892

<sup>1)</sup> Röntgenoskopska istraživanja pokazala su, da se kobaltin kristalizuje u plagioklaskoj hemiedriji; vidi str. 450.

apatit (ClF)Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	piramidska hemiedrija	a : c = 1 : 0,7346
piromorfit ClPb <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>		a : c = 1 : 0,7362
mimetozit ClPb <sub>5</sub> (AsO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>		a : c = 1 : 0,7224
vanadinit ClPb <sub>5</sub> (VO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>		a : c = 1 : 0,7122
milerit NiS	hemimorfija trigonske hemiedrije	a : c = 1 : 0,9886
nikelin NiAs		a : c = 1 : 0,9492
brajthauptit NiSb		a : c = 1 : 0,9962
fenakit Be <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	romboedrijska tetartoedrija	a : c = 1 : 0,6611
vilemit Zn <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>		a : c = 1 : 0,6697
vurcicit ZnS	hemimorfija holloedrije	a : c = 1 : 0,81747
grenokit CdS		a : c = 1 : 0,81091
hematit Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	romboedrijska hemiedrija	a : c = 1 : 1,3654
korund Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		a : c = 1 : 1,3652.

U rompskom sustavu nalazimo ove izomorfne nizove minerala:

epsomit MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	hemiedrija	a : b : c = 0,9901 : 1 : 0,5709
goslarit ZnSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O		a : b : c = 0,9804 : 1 : 0,5631
morenozit NiSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O		a : b : c = 0,9815 : 1 : 0,5656
aragonit CaCO <sub>3</sub>	holloedrija	a : b : c = 0,6228 : 1 : 0,7204
stroncijanit SrCO <sub>3</sub>		a : b : c = 0,6090 : 1 : 0,7237
viterit BaCO <sub>3</sub>		a : b : c = 0,5949 : 1 : 0,7413
cerusit PbCO <sub>3</sub>		a : b : c = 0,6102 : 1 : 0,7232
kolumbit Fe(NbO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>		a : b : c = 0,8285 : 1 : 0,8898
tantalit Fe(TaO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>		a : b : c = 0,8304 : 1 : 0,8732
dijaspor Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · H <sub>2</sub> O		a : b : c = 0,9372 : 1 : 0,6039
getit Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · H <sub>2</sub> O		a : b : c = 0,9185 : 1 : 0,6068
manganit Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · H <sub>2</sub> O		a : b : c = 0,8441 : 1 : 0,5448
antimonit Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub>		a : b : c = 0,99257 : 1 : 1,01788
bizmutit Bi <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	a : b : c = 0,96794 : 1 : 0,98498	
frencelit Bi <sub>2</sub> Se <sub>3</sub>	a : b : c = oko 1 : 1 : oko 1	
otenit Ca[PO <sub>4</sub> ] <sub>2</sub> [UO <sub>2</sub> ] <sub>2</sub> · 8H <sub>2</sub> O	"	a : b : c = 0,9875 : 1 : 2,8517
uranospinit Ca[AsO <sub>4</sub> ] <sub>2</sub> [UO <sub>2</sub> ] <sub>2</sub> · 8H <sub>2</sub> O		a : b : c = 0,9999 : 1 : 2,9136
celestin SrSO <sub>4</sub>		a : b : c = 0,7790 : 1 : 1,2800
barit BaSO <sub>4</sub>		a : b : c = 0,8152 : 1 : 1,3136
anglezitet PbSO <sub>4</sub>	"	a : b : c = 0,7852 : 1 : 1,2894.

U monoklinskom sustavu nalazimo ove izomorfne nizove minerala:

melanterit FeSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	holloedrija	a : b : c = 1,1828 : 1 : 1,5427, β = 104° 15 1/2'
biberit CoSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O		a : b : c = 1,1815 : 1 : 1,5325, " = 104° 40'
diopsid CaMgSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	"	a : b : c = 1,0503 : 1 : 0,5894, " = 90° 9'
hedenbergit CaFeSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub>		a : b : c = 1,050 : 1 : 0,587, " = 90 1/2°
augit MgAl <sub>2</sub> SiO <sub>6</sub>		a : b : c = 1,052 : 1 : 0,592, " = 90° 22'
akmit NaFeSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub>		a : b : c = 1,0527 : 1 : 0,6012, " = 90° 59 1/2'
tremolit Mg <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>12</sub>		a : b : c = 0,5415 : 1 : 0,2886, " = 105° 11 1/2'
rogovača CaMg <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>12</sub>		a : b : c = 0,5318 : 1 : 0,2936, " = 104° 58'
glaukofan Na <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>12</sub>		a : b : c = 0,53 : 1 : 0,29, " = 103°
ribekit Na <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>12</sub>		a : b : c = 0,5475 : 1 : 0,2295, " = 103° 30'
arfvedsonit Na <sub>2</sub> Fe <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>12</sub>		a : b : c = 0,5496 : 1 : 0,2975, " = 104° 15 1/2'
ortoklas KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>		a : b : c = 0,6585 : 1 : 0,5554, " = 116° 3'
celzijan BaAl <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	"	a : b : c = 0,657 : 1 : 0,554, " = 115° 35'.

U triklinskom sustavu ističu se kao izomorfna grupa plagioklasi:

albit NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	holloedrija	a : b : c = 0,6330 : 1 : 0,5573, α = 94° 5', β = 116° 27', γ = 88° 7'
oligoklas		a : b : c = 0,6322 : 1 : 0,5525, " = 93° 41 1/2', " = 116° 23', " = 90° 4'
andezin		a : b : c = 0,6355 : 1 : 0,5517, " = 93° 23', " = 116° 28', " = 89° 59'
labradorit		a : b : c = 0,6377 : 1 : 0,5547, " = 93° 31', " = 116° 3', γ = 89° 54 1/2'
bitovnit		a : b : c = ?
anortit CaAl <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub>		a : b : c = 0,6347 : 1 : 0,5501, " = 93° 13', " = 115° 55', " = 88° 48'.

111. Izomorfni minerali mogu se medju sobom miješati u različitim omjerima stvarajući pri tom homogene kristale. Sličnost u kemijskom sastavu i kristalnim formama izomorfnih minerala dovodi ih do tolike srodnosti, da se mogu medju sobom miješati u vrlo različitim omjerima i tako izmiješani stvarati kristale, koji su potpuno homogena tijela. Kad bismo uzeli dva izomorfna minerala, na pr. bijelu galicu, koja je poznata u prirodi kao mineral goslarit  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ , i gorku so, koja dolazi u prirodi kao mineral epsomit  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ , pa ih otopili i pustili, da se iz otopine kristalizuju, ne bi se iskristalizovala posebice bijela galica, a posebice gorka so, nego bi se razvili kristali novoga tijela, koje bi imalo u sebi različite količine jedne i druge soli; ti kristali bili bi potpunoma homogeni, a pripadali bi istoj kristalnoj klasi, kojoj pripadaju goslarit i epsomit, t. j. rompskoj hemiedriji. Ovakove potpuno homogene kristale, koji su sastavljeni od različitih količina izomorfnih spojeva, zovemo kristalima mješancima; kristali mješanci predočuju dakle homogene smjese dvaju ili više izomorfnih spojeva; oni su izomorfne smjese.

Ova sposobnost miješanja dvaju minerala u jedno homogeno tijelo, u kristale mješance, jedan je od glavnih uvjeta za izomorfiju dvaju minerala. Možemo kazati: dva su minerala izomorfna, kad zadovoljavaju ova tri uvjeta:

1. sličan kemijski sastav;
2. slična kristalna forma;
3. sposobnost stvaranja kristala mješanaca.

Kod izomorfnih minerala možemo lako zamijeniti jedan dio elementa sa nekim drugim elementom ili jedan dio radikala<sup>1)</sup> sa nekim drugim radikalom, pa će u tom slučaju doći do razvitka izomorfnih smjesa, do kristala čistih izomorfnih spojeva. U prirodi se to dosta često događa, pa su izomorfne smjese raširenije od čistih izomorfnih minerala. Kad se razvija negdje u prirodi na pr. siderit  $FeCO_3$ , koji je izomorfan sa kalcitom  $CaCO_3$ , rodohrozitom  $MnCO_3$  i magnezitom  $MgCO_3$ , događa se gotovo redovito, da jedan dio željeza Fe bude zamijenjen sa kalcijem Ca, sa magnezijem Mg ili sa manganom Mn, pa dolazi do razvitka siderita, u kom se nalazi kao izomorfna primjesina neka količina  $CaCO_3$ ,  $MnCO_3$  i  $MgCO_3$ . Pri tom kristalna forma siderita nije pretrpjela nikakvih bitnih promjena. Kako je siderit sastavljen jednim dijelom od različitih izomorfnih smjesa, tako isto imaju u svom sastavu razne izomorfne smjese i drugi romboedrijski karbonati; na pr. rodohrozit  $MnCO_3$  ima redovito u svom sastavu neku količinu željeznoga karbonata  $FeCO_3$  i kalcijeskoga karbonata  $CaCO_3$ ; i rodohrozit se dakle zna razviti kao izomorfna smjesa  $MnCO_3$  sa  $FeCO_3$  i  $CaCO_3$ . Istu pojavu možemo posmatrati i kod magnezita  $MgCO_3$ , gdje

<sup>1)</sup> Radikalima ili ostacima zovemo nezasićene atomske komplekse, koji se vladaju jednako kao elementi; radikal je na pr. hidroksil OH.

je jedan dio Mg zamijenjen sa Ca, Fe, Mn, pa se magnezit pojavljuje kao izomorfna smjesa  $MgCO_3$  sa  $CaCO_3$ ,  $FeCO_3$  i  $MnCO_3$ ; i kalcit  $CaCO_3$  razvija se dosta često kao izomorfna smjesa, gdje je jedan dio Ca zamijenjen sa Mg, Fe, Mn. Elemente, koji u izomorfnim mineralima mogu jedni druge da zamijene, a da se pri tom kristalna forma minerala bitno ne promijeni, zovemo izomorfnim elementima<sup>1)</sup> ili elementima zamjenicima. U malo čas pomenutim mineralima izomorfni su elementi Ca, Mg, Mn i Fe.

Kako elementi, tako se mogu izomorfno da zamijene i radikali. Piromorfit je na pr. olovni fosfat sa klorom  $Pb_3(PO_4)_3$ ; ako u njemu zamijenimo radikal  $PO_4$  sa radikalom  $AsO_4$ , dobit ćemo drugi izomorfan mineral, mimetezit, olovni arsenat sa klorom  $Pb_3(AsO_4)_3$ . U kolumbitu  $Fe(NbO_3)_2$ , koji je izomorfan sa tantalitom  $Fe(TaO_3)_2$ , možemo zamijeniti radikal  $NbO_3$  sa radikalom  $TaO_3$ .

Izomorfne elemente ili elemente zamjenike možemo naći u ovih VII grupa:

I. grupa: Li, Na, K, Rb, Cs, H, Tl, Cu, Ag (grupa jednovaljanih elemenata). Pojedini izmedju ovih elemenata mogu da se izomorfno zamijene, ali ne u svim spojevima. Tako se na pr. litijski i natrijski klorid,  $LiCl$  i  $NaCl$ , kristalizuju teseralno, ali nisu izomorfni; u tom spoju ne može dakle Li i Na da zamijene jedan drugoga, pa prema tome ni kloridi tih dvaju elemenata ne mogu da stvaraju izomorfnih smjesa. Isto tako litijski i natrijski sulfat,  $Li_2SO_4$  i  $Na_2SO_4$  nisu izomorfni. Tek u nešto zamršenijim spojevima tih dvaju elemenata javlja se izomorfija. Možda su ta dva elementa izomorfna u ditionatima dihidratima  $Li_2S_2O_8 \cdot 2H_2O$  i  $Na_2S_2O_8 \cdot 2H_2O$ , koji se kristalizuju rompski sa vrlo blizim osnim odnosom  $a:b:c = 0,9657:1:0,5779$  i  $a:b:c = 0,9922:1:0,5981$ , ma da još nisu ispitani odnosi njihovoga medjusobnoga miješanja. Svakako su izomorfni njihovi ortofosfati, litiofilit  $LiMnPO_4$  i natrofilit  $NaMnPO_4$ , pa su prema tome u tom spoju oba elementa izomorfna. U nekim spojevima razlikuju se oba ova elementa od kalija, pa ne mogu uvijek da zamijene kalij. Ali u nekim spojevima kalij je svakako izomorfan sa natrijem; tako na pr. u spojevima  $Na_2K_2(CO_3)_2 \cdot 12H_2O$  i  $Na_3K(CO_3)_2 \cdot 12H_2O$ , u spojevima  $NaAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$  i  $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ , u spojevima  $Na_2HPO_4 \cdot 7H_2O$  i  $NaKHPO_4 \cdot 7H_2O$ . U nekim kompliciranijim spojevima prirodnih silikata razlikuju se Li i Na od K, na pr. u turmalinu, a u nekima su sva tri ta elementa izomorfna, pa mogu jedan drugoga da zamijene; a ujedno mogu da zamijene i vodik H tako, da je i taj element sa njima izomorfan na pr. u vezuvijanu. Kalij, rubidij i cezij mogu se i u svojim jednostavnim i u zamršenim spojevima medjusobno izomorfno zamjenjivati, na pr. u sulfatima  $K_2SO_4$ ,  $Rb_2SO_4$ ,  $Cs_2SO_4$ ; kako je sa ovim sulfatima izomorfan i talij  $Tl_2SO_4$ , to je i taj

<sup>1)</sup> Atomi izomorfnih elemenata nisu sami za sebe izomorfni, nego samo u izomorfnim spojevima.

elemenat izomorfan sa K, Rb i Cs. Od jednovaljanih teških metala stvaraju bakar, srebro i zlato kao elementi izomorfnu grupu, dok se bakar i srebro mogu izomorfno da zamijene u nekim spojevima, na pr. u prirodnim sulfidima, u halkozinu  $\text{Cu}_2\text{S}$  i štromajeritu  $\text{CuAgS}$ .

*II. grupa:* Be, Zn, Mg, Cr, Fe, Ni, Co, Cd, Cu, Ca, Sr, Ba, Pb, Pt, V, Pd, Ru, Sn, Hg (grupa dvovaljanih elemenata). I u ovoj grupi pojedini elementi mogu da se izomorfno zamijene, ali ne u svim spojevima. Izomorfne spojeve berilija, cinka i magnezija, koji se kao elementi kristalizuju heksagonski, nalazimo u fenakitu  $\text{Be}_2\text{SiO}_4$  i vilemitu  $\text{Zn}_2\text{SiO}_4$ , pa su prema tome u tim spojevima Be i Zn izomorfni, zatim u vagneritu  $\text{FMg}_2\text{PO}_4$  i herderitu  $\text{FCaBePO}_4$ , gdje su Mg, Be i Ca izomorfni. Cinak, magnezij, krom, mangan, željezo pojavljuju se kao izomorfni elementi na pr. u grupi spinela i magnetita kao ganit  $\text{ZnO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ , spinel  $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ , kromit  $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$ , magnetit  $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ , jakopsit  $\text{MnO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ . Željezo, nikalij, kobalt nalaze se izomorfni na pr. u grupi pirita i to u piritu  $\text{FeS}_2$ , kloantitu  $\text{NiAs}_2$ , smaltinu  $\text{CoAs}_2$ . Cinak i kadmij izomorfni su u vircitu  $\text{ZnS}$  i u grenokitu  $\text{CdS}$ . Cinak i bakar nalaze se izomorfni u adamitu  $\text{AsO}_4\text{Zn}[\text{Zn.OH}]$  i u olivenitu  $\text{AsO}_4\text{Cu}[\text{Cu.OH}]$ . Kalcij, magnezij, željezo, mangan i cinak izomorfni su u romboedrijskim karbonatima, a aragonitu  $\text{CaCO}_3$ , stroncijanitu  $\text{SrCO}_3$ , viteritu  $\text{BaCO}_3$ , cerusitu  $\text{PbCO}_3$ . U sulfatima sa 7 molekula vode izomorfni su magnezij, vanadij, mangan, željezo, bakar:  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{VSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{MnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CuSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ . Platina i rutenij izomorfni su sa metalima grupe pirita u mineralima sperilitu  $\text{PtAs}_2$  i lauritu  $\text{RuS}_2$ . U spojevima  $\text{PdK}_2(\text{CN})_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  i  $\text{NiK}_2(\text{CN})_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  izomorfni su paladij i nikalij, a u spojevima  $\text{SnK}_2\text{Cl}_4$  i  $\text{HgK}_2\text{Cl}_4$  i u spojevima  $2\text{CN}(\text{CH}_3)_4 \cdot \text{CuCl}_2$  i  $2\text{CN}(\text{CH}_3)_4 \cdot \text{HgCl}_2$  izomorfan je kositer sa živom i živa sa bakrom.

*III. grupa:* B, Al, Ti, Cr, Fe, Mn, Co, V, Tl, Ga, In, Ir, Rh, Y, Pr, Nd, Di, Sm, Gd, Tb, Er, Ce (grupa trovaljanih elemenata). U sasoliniu  $\text{BH}_3\text{O}_3$  i hidrargilitu  $\text{AlH}_3\text{O}_3$  pokazuje se neka sličnost medju borom i aluminijem s obzirom na njihove kristalne forme; sasolin, koji se kristalizuje triklinski, ima osni odnos  $a:b:c=1,7329:1:0,9228$ , a hidrargilit, koji se kristalizuje monoklinski,  $a:b:c=1,7089:1:1,9184$ . Oba ta elementa pokazuju izvjesne analogije u sastavu nekih zamršenih silikata. Dok dakle izomorfija izmedju bora i aluminija nije očita, to se aluminij vrlo često izomorfno zamjenjuje sa kromom, manganom, željezom, a kadšto i sa titanom. Izomorfiju aluminija sa željezom i kromom nalazimo na pr. u grupi magnetita i spinela, u hercinitu  $\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ , magnetitu  $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$  i kromitu  $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$ ; izomorfija aluminija, željeza, mangana nalazi se u dijasporu  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , getitu  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  i manganitu  $\text{Mn}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ . Naročito su Al, Fe, Mn, Cr, Ti kao oksidi tipa  $\text{R}_2\text{O}_3$  izomorfni u silikatima; kao primjer navest ćemo grupu granata:  $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ ,  $\text{Ca}_3\text{Fe}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ ,  $\text{Ca}_3\text{Cr}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ ,

$\text{Ca}_3\text{Ti}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ ; u nekim crnim granatima jedan je dio  $\text{Al}_2\text{O}_3$  i  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  zamijenjen sa  $\text{Mn}_2\text{O}_3$ . Osobito se lijepo ističe izomorfija trovaljanih elemenata u grupi alauna, gdje na mjesto aluminija u  $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ , može stupiti vanadij, krom, mangan, željezo, kobalt, galij, rodij, indij, talij, titan. I trovaljani metali rijetkih zemalja mogu se izomorfno zamjenjivati naročito u sulfatima, na pr. itrijski sulfat-oktohidrat  $\text{Y}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ , prazeodimski sulfat-oktohidrat  $\text{Pr}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ , neodimski sulfat-oktohidrat  $\text{Nd}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ , didimski sulfat-oktohidrat  $\text{Dy}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ , samarijski sulfat-oktohidrat  $\text{Sm}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ , gadolinijski sulfat-oktohidrat  $\text{Gd}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ , terbijski sulfat-oktohidrat  $\text{Tb}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ , erbijski sulfat-oktohidrat  $\text{Er}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ , cerov sulfat-oktohidrat  $\text{Ce}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ . Platinski metali, rodij i iridij, izomorfni su sa kobaltom, željezom, kromom i manganom u ovim spojevima  $\text{K}_3\text{Rh}(\text{CN})_6$ ,  $\text{K}_3\text{Ir}(\text{CN})_6$ ,  $\text{K}_3\text{Co}(\text{CN})_6$ ,  $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ ,  $\text{K}_3\text{Cr}(\text{CN})_6$ ,  $\text{K}_3\text{Mn}(\text{CN})_6$ .

*IV. grupa:* C, Si, Ti, Zr, Sn, Pb, Te, Pt, Pd, Ce, Th, U (grupa četvorovaljanih elemenata). U prkos tome, što ugljik i silicij stvaraju jodide  $\text{CJ}_4$  i  $\text{SiJ}_4$ , koji se kristalizuju u jednakim formama teseralnoga sustava, ova su dva elementa u kemijskom pogledu tako različita, da nemogu ni u jednom spoju zamijeniti jedan drugoga. Ali je zato silicij izomorfan sa titanom i kositrom. Na izomorfiju tih dvaju elemenata mogli bismo misliti već s obzirom na grupu cirkonskih minerala, gdje se javljaju minerali cirkon  $\text{ZrO}_2 \cdot \text{SiO}_2$ , rutil  $\text{TiO}_2$ , torit  $\text{ThO}_2 \cdot \text{SiO}_2$ , polijanit  $\text{MnO}_2$  i platnerit  $\text{PbO}_2$  svi u holodriji tetragonskoga sustava sa bliskim ošnim odnosom (str. 418.); prema toj grupi podsjećaju nas na medjusobnu izomorfiju Si, Zr, Sn, Th, Pb i Mn, ali nijedan od ovih elemenata ne stvara izomorfne smjese, pa ni  $\text{SiO}_2$  ne javlja se sam za sebe nigdje u tetragonskom sustavu. Nesumnjivo medjusobno zamjenjivanje Si, Ti, Sn nalazimo u fluosolima tipa  $\text{SrSiF}_6 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{MgSiF}_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  itd., gdje Ti i Sn mogu zamijeniti Si. U nekim stanatima, platinatima i plumbatima, na pr. u kalijskom hidroksistanatu  $\text{K}_2\text{Sn}(\text{OH})_6$ , u kalijskom hidroksi-platinatu  $\text{K}_2\text{Pt}(\text{OH})_6$ , u kalijskom hidroksi-plumbatu  $\text{K}_2\text{Pb}(\text{OH})_6$  izomorfni su Sn, Pt, Pb. U kalijskom heksaklorostanatu  $\text{K}_2\text{SnCl}_6$ , kalijskom heksakloroplatinatu  $\text{K}_2\text{PtCl}_6$  i kalijskom heksakloropaladijatu  $\text{K}_2\text{PdCl}_6$  izomorfni su Sn, Pt, Pd. U sličnim spojevima, kao što je kalijski heksaklorotelurit  $\text{K}_2\text{TeCl}_6$ , kalijski heksakloroosmijat  $\text{K}_2\text{OsCl}_6$ , kalijski heksakloroiridij  $\text{K}_2\text{IrCl}_6$ , kalijski heksaklororutenijat  $\text{K}_2\text{RuCl}_6$ , kalijski heksabromoselenit  $\text{K}_2\text{SeBr}_6$ , cezijski heksakloroantimonij  $\text{Cs}_2\text{SbCl}_6$ , vjerojatno su izomorfni Te, Os, Ir, Ru, Se, Sb. Cirkonij i cer izomorfni su u cirkonijskom sulfatu tetrahidratu  $\text{Zr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  i u cerskom sulfatu tetrahidratu  $\text{Ce}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , a tor i uran u torijskom sulfatu tetrahidratu  $\text{Th}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  i  $\text{U}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ .

*V. grupa:* N, P, As, Sb, Bi, Nb, Ta, V (grupa trovaljanih i petorovaljanih elemenata). Po kemijskim osobinama dušik ne pokazuje nikakovu izomorfnu osobinu sa elementima ove grupe. Izomorfija počinje sa fosforom,

koji je izomorfan sa arsenom, antimonom i bizmutom u svom samorodnom stanju. U spojevima, gdje su ovi elementi trovaljani, javlja se njihovo izomorfno zamjenjivanje, na pr. u jodidima  $PJ_3$ ,  $AsJ_3$ ,  $SbJ_3$ ,  $BiJ_3$ . Arsen, antimon i bizmut izomorfno se zamjenjuju u sulfosolima, na pr. u burnonitu  $CuPbSbS_3$ , patrinitu  $CuPbBiS_3$ , vitihenitu  $Cu_3BiS_3$  i seligmanitu  $CuPbAsS_3$ . Kao petorovaljani elementi zamjenjuju se izomorfno fosfor, arsen i vanadij u apatitu  $(ClF)Ca_5(PO_4)_3$ , piromorfitu  $ClPb_5(PO_4)_3$ , mimetezitu  $ClPb_5(AsO_4)_3$  i vanadinitu  $ClPb_5(VO_4)_3$ . Nijob i tantal izomorfno se zamjenjuju u tantalitima i niobatima, na pr. u tantalitu  $Fe(TaO_3)_2$  i kolumbitu  $Fe(NbO_3)_2$ .

**VI. grupa:** O, S, Se, Te, Cr, Mn, Fe, Mo, W (grupa dvovaljanih, četvorovaljanih i šestorovaljanih elemenata). Izomorfno zamjenjivanje kisika sa elementima ove grupe ne postoji. Ali se zato osobito lijepo razvila izomorfija između sumpora, kroma i selena na pr. u rompskim solima  $K_2SO_4$ ,  $K_2CrO_4$ ,  $K_2SeO_4$ , kojima se priključuju kao izomorfni članovi  $K_2MnO_4$  i  $K_2FeO_4$ , a možda i  $K_2MoO_4$  i  $K_2WO_4$  tako, da bi sa S, Cr, Se bio izomorfan Mn i Fe, a vjerojatno Mo i W. Pouzdano izomorfno zamjenjivanje Mo sa S i Cr nalazimo u  $(NH_4)_2Mg(SO_4) \cdot 6H_2O$ ,  $(NH_4)_2Mg(MoO_4) \cdot 6H_2O$  i u  $MgSO_4 \cdot 5H_2O$ ,  $MgCrO_4 \cdot 5H_2O$ ,  $MgMoO_4 \cdot 5H_2O$ . Izomorfno zamjenjivanje sa molibdenom i volframom nalazimo u normalnim molibdatima i volframatima kalcijским, stroncijskim, barijskim i olovnim i u spojevima  $(NH_4)_2F_4WO_2$ ,  $(NH_4)_2F_4MoO_2$ . U argentitu  $Ag_2S$ , naumanitu  $Ag_2Se$  i hesitu  $Ag_2Te$  nalazimo izomorfiju medju S, Se i Te.

**VII. grupa:** F, Cl, Br, J, Mn (grupa halogenida). Dok su halogenski elementi Cl, Br, J s obzirom na izomorfiju medju sobom dosta srodni te se tako izomorfno zamjenjuju, fluor se u toliko odvaja od njih, što se s tim elementima u analognim spojevima ne da zamijeniti. Tako se na pr.  $KF$  i  $NH_4F$  drugačije kristalizuju od  $KCl$  i  $NH_4Cl$ ,  $SnF_2$  drugačije od  $SnCl_2$ . Pravu izomorfiju između F i Cl nalazimo u nešto zamršenijim spojevima, na pr. u  $MgSnF_6 \cdot 6H_2O$  i  $MgSnCl_6 \cdot 6H_2O$ , u apatitu  $ClCa_5(PO_4)_3$  i  $FCa_5(PO_4)_3$ . Klor, brom, jod zamjenjuju se izomorfno na pr. u kerargiritu  $AgCl$ , bromargiritu  $AgBr$  i u  $AgJ$ , koji je sa prva dva izomorfan tek kod više temperature, pa se kristalizuje teseralno; uz običnu temperaturu prelazi  $AgCl$  u heksagonski sustav, pa je poznat onda kao mineral jodargirit. Jod se uopće rado odvaja od Cl i Br; tako su na pr.  $NaClO_3$  i  $NaBrO_3$  izomorfni, a  $NaJO_3$  nije izomorfan sa prva dva klorata. U  $KClO_3$ ,  $KBrO_3$ ,  $KJO_3$  nije ni jedan od halogenskih elemenata izomorfan, pošto se sve tri te soli različito kristalizuju. Sa Cl je izomorfan mangan u spojevima  $KClO_4$ ,  $KMnO_4$  i  $LiClO_4 \cdot 3H_2O$ ,  $LiMnO_4 \cdot 3H_2O$ .

Svi ovi izomorfni elementi, koji se medjusobno zamjenjuju, nalaze se u periodskom sistemu elemenata u blizini jedan pored drugoga; ista ona fizička i kemijska srodnost elemenata, koja je periodska funkcija njihovih

atomske težine (str. 395.), dolazi do izražaja i u razvitku izomorfne smjese.<sup>1)</sup>

**112. Mnogi se minerali pojavljuju kao kemijski čiste tvari.** Kad smo govorili o spajanju kemijskih elemenata u novo tijelo, kazali smo, da se to spajanje vrši po izvjesnim zakonima, koji zahtijevaju, da dva ili više elemenata ulaze u kemijski spoj po stalnim i višestrukim uteznim omjerima (105). Kemijski spoj, koji je postao na taj način, zovemo kemijski čistom tvari (kemijski individuum). Kemijski čista tvar jest potpuno homogeno tijelo i svi njeni sastavni dijelovi stoje medjusobno u stalnim višestrukim uteznim omjerima, te se kvantitativni sastav njezin da prikazati stalnom kemijskom formulom; na pr. kremen (kvarc)  $SiO_2$  jest kemijski čista tvar, jer njegovi sastavni dijelovi Si i  $O_2$  stoje u stalnom medjusobnom omjeru, koji se da prikazati kemijskom formulom  $SiO_2$ ; ta je formula za kremenu tvar uvijek stalna, pa kristalizovao se kremen gdje mu drago i ma uz koje god prilike.

Medju mineralima, koji se pojavljuju kao elementi, kemijski čiste tvari dosta su rijetke. Zlato na pr. pa srebro, platina, bakar i t. d., kad se pojavljuju u samorodnom stanju, kao minerali, nisu nikada kemijski čiste tvari, nego su uvijek legure (slitine); naprotiv dijamant, grafit, sumpor, ti nemetalni elementi, kemijski su čiste tvari. Kemijski čiste tvari vrlo su raširene kod minerala, koji su se razvili kao kemijski spojevi, na pr. kao sulfidi, oksidi, sulfosoli, oksisoli i haloidne soli.

**113. Izomorfni minerali, koji se pojavljuju kao izomorfne smjese, nisu kemijski čiste tvari, nego su čvrste otopine.** Dok minerali, koji su se razvili kao kemijski čiste tvari, predstavljaju spojeve, u kojima se sastavni dijelovi nalaze u stalnim višestrukim uteznim omjerima, te se njihov kvantitativni sastav da prikazati stalnom kemijskom formulom, dotle izomorfne smjese predstavljaju spojeve, u kojima se nalaze dva ili više izomorfni čistih spojeva, koji su ujedinjeni u potpuno homogeno tijelo sa različitim omjerima. Kako se ujedinjavanje kemijski čistih izomorfni spojeva ne vrši po stalnim i višestrukim uteznim omjerima, nego su ti omjeri vrlo različiti tako, da u izomorfnoj smjesi ima sad jednog, sad drugog izomorfni spoja više, to nije moguće prikazati kvantitativni sastav izomorfne smjese stalnom kemijskom formulom, iz koje bismo mogli zaključiti na količinu sastavnih dijelova.

Razmotrit ćemo to na mineralu tarnovicitu, koji je po kemijskom sastavu izomorfna smjesa kalcijskog karbonata  $CaCO_3$  sa olovnim karbonatom  $PbCO_3$ . God. 1839. nadjen je u gornjoj Šleskoj kod mjesta Tarnovice (odatle mineralu ime); on je po kemijskoj analizi imao 95,45%  $CaCO_3$  i 3,88%  $PbCO_3$ . U istom kraju kod Tarnovica nadjeni su tarnoviciti i sa

<sup>1)</sup> P. Groth: Einleitung in die chemische Krystallographie, pag. 48. Leipzig 1904. — P. Groth: Chemische Krystallographie. Erster Teil, Leipzig 1906.; zweiter Teil, Leipzig 1908.

2,19; 2,41; 2,56; 3,56 i 8,56%  $\text{PbCO}_3$ . Isti takav mineral razvio se i u našim krajevima u Podrinju kod Postenja nedaleko Krupnja, ali je sastavljen od 81,68%  $\text{CaCO}_3$  i 18,05%  $\text{PbCO}_3$ . Kako vidimo, u tarnovicitu omjer između jednoga i drugoga spoja, između jedne i druge komponente, t. j. između  $\text{CaCO}_3$  i  $\text{PbCO}_3$  vrlo koleba tako, da se ne može prikazati nekom stalnom kemijskom formulom; tarnovicit je sastavljen od  $x\text{CaCO}_3 + y\text{PbCO}_3$ , gdje  $x$  i  $y$  mogu da znače koje mu drago brojeve.

U izomorfnim smjesama miješaju se dakle dvije i više tvari u vrlo različitim količinama među sobom u jedno homogeno tijelo baš onako, kao što se dvije tekućine mogu među sobom miješati u vrlo različitim omjerima stvarajući potpuno homogenu otopinu. Voda  $\text{HOH}$ , primjerice, može se miješati u svim omjerima sa alkoholom  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  stvarajući homogenu otopinu, u kojoj su voda i alkohol jedan u drugom otopljeni. Baš tako shvaćamo i izomorfne smjese otopinama, gdje su sastavni dijelovi ili komponente jedna u drugoj otopljene. Kako su izomorfne smjese kristalizovane, dakle čvrsta tijela, predstavljaju one otopine u čvrstom stanju — *čvrste otopine*. Da su izomorfne smjese zaista čvrste otopine, razabira se odatle, što se one pokoravaju zakonima, koji vrijede uopće za otopine.

Kao što ima tekućih tvari (voda i alkohol), koje se mogu među sobom miješati u svim omjerima, ima i izomorfnih spojeva, koji se mogu miješati u svim omjerima; ali kako ima tekućih tvari (voda i amilski alkohol), koje se samo u izvjesnim granicama mogu među sobom miješati u homogenu smjesu i preko te granice ne prelaze, tako isto ima i izomorfnih spojeva, koji se samo do nekih granica među sobom miješaju u izomorfne smjese.

Izomorfni minerali ojednaka molekularna volumena (58) miješaju se u izomorfne smjese u svim omjerima, a izomorfni minerali različita molekularna volumena zalaze u izomorfne smjese do izvjesnih granica. Plagioklasi na pr., koji predstavljaju čitav niz izomorfnih smjesa između dva krajnja člana, albita  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$  i anortita  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ , miješaju se u svim omjerima od 0—100%, jer je njihov molekularni volumen ojednak; albit ima molekularnu težinu = 263, specifičnu težinu = 2,624, dakle mu je molekularni volumen  $263 : 2,624 = 100,2$ ; anortit ima molekularnu težinu = 278,87, specifičnu težinu = 2,758, dakle mu je molekularni volumen  $278,87 : 2,758 = 101,1$ . Aragonit  $\text{CaCO}_3$  i cerusit  $\text{PbCO}_3$  izomorfni su minerali, ali se miješaju u vrlo ograničenim omjerima, jer im je molekularni volumen dosta različit; aragonit ima molekularnu težinu = 100,7, specifičnu težinu = 2,936, dakle mu je molekularni volumen  $100,7 : 2,963 = 34,1$ ; cerusit ima molekularnu težinu = 267,20, specifičnu težinu = 6,52, dakle mu je molekularni volumen  $267,20 : 6,52 = 40,9$ .

Prilike, uz koje se razvijaju minerali u prirodi, takove su, da se minerali pojavljuju većinom kao čvrste otopine, kao izomorfne smjese. Zato

su izomorfne smjese, dakle čvrste otopine, među mineralima raširenije od kemijski čijsih tvari.

**114. Sastavni dijelovi (komponente) izomorfnih smjesa ne dolaze uvijek i kao samostalni izomorfni spojevi sami za sebe.** Među izomorfnim smjesama nalazimo i takovih, koje su sastavljene od dvije i više komponenata (izomorfnih spojeva), od kojih po neka nije još nigdje nadjena u prirodi kao samostalan izomorfan spoj, kao samostalan mineral. Dok je na pr. tarnovicit izomorfna smjesa kalcijuskoga i olovnoga karbonata  $\text{CaCO}_3$  i  $\text{PbCO}_3$ , gdje obje komponente dolaze u prirodi svaka sama za sebe i kao samostalan mineral,  $\text{CaCO}_3$  kao aragonit,  $\text{PbCO}_3$  kao cerusit, dotle je na pr. broncit (enstatit i hipersten), izomorfna smjesa  $x\text{MgSiO}_3 + y\text{FeSiO}_3$ , sastavljen od dvije komponente, od kojih samo jedna,  $\text{MgSiO}_3$ , dolazi u prirodi kao samostalan spoj, kao mineral enstatit, dok druga komponenta,  $\text{FeSiO}_3$ , nigdje do danas nije nadjena kao samostalan spoj, kao mineral; željezni metasilikat  $\text{FeSiO}_3$  poznat je u prirodi samo kao sastavni dio rompskih piroksena enstatita, broncita i hiperstena.

Takve izomorfne smjese, gdje po neka komponenta nije poznata sama za sebe, možemo prirediti sami vještačkim načinom. Ako izmiješamo na pr. otopine gorke soli  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , koja se kristalizuje rompski, i željezne galice  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , koja se kristalizuje monoklinski, i pustimo, da se ta otopina, u kojoj su obje soli izmiješane, kristalizuje, razvit će se kristali mješanci  $x\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} + y\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  u formama monoklinskoga sustava. Gorka so  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , koja je u prirodi poznata samo kao mineral rompskoga sustava, pojavljuje se u izomorfnj smjesi sa željeznom galicom  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  u monoklinskom sustavu; zaključujemo po tome, da je  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  dimorfna tvar, ma da još nije uspjelo naći u prirodi dimorfnu modifikaciju  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (vidi još 117).

**115. Minerale, koji su se razvili kao izomorfne smjese, prikazujemo takodjer kemijskim formulama.** Ma da se minerali, koji se pojavljuju kao izomorfne smjese, ne mogu prikazati stalnim kemijskim formulama, označujemo ih ipak kemijskim formulama tako, da pojedine izomorfne elemente (111) stavimo u zagradu; tarnovicit bi prema tome imao formulu  $(\text{CaPb})\text{CO}_3$ .<sup>1)</sup> Ta formula ne kaže, koliko je u tarnovicitu  $\text{CaCO}_3$ , a koliko  $\text{PbCO}_3$ , nego samo, da se oba karbonata nalaze u spoju kao izomorfna smjesa, u kojoj može da bude  $x\text{CaCO}_3 + y\text{PbCO}_3$ .

Do kemijskih formula izomorfnih smjesa dolazimo na jednaki način kao do formula kemijski čistih spojeva (108); postotke pojedinih sastavnih dijelova (komponentata), do kojih smo došli kvantitativnom kemijskom analizom minerala, razdijelimo sa njihovom atomskom (ili molekularnom) težinom, pa ćemo dobiti neke kvocijente; kvocijente onih elemenata ili spojeva,

<sup>1)</sup> Neki običavaju elemente u zagradama odijeliti jedan od drugoga zarezom, na pr. formula tarnovicitu bila bi  $(\text{Ca},\text{Pb})\text{CO}_3$ .

koji se među sobom u izomorfnoj smjesi zamjenjuju, zbrojimo, pa gledamo, u kom omjeru stoje spram kvocijenta onoga elementa ili spoja, s kojim su u mineralu vezani. Možemo to promotriti u našem tarnovicitu od Postenja na Drini. Po kvantitativnoj analizi ima u njemu 45,77% CaO, 15,08% PbO i 38,98% CO<sub>2</sub>; molekularna težina CaO = 56,07 (Ca = 40,07; O = 16); molekularna težina PbO = 223,20 (Pb = 207,20; O = 16); molekularna težina CO<sub>2</sub> = 44 (C = 12; O<sub>2</sub> = 32), dakle:

$$\text{za kalcijski oksid CaO} \dots\dots 45,77 : 56,07 = 0,8163$$

$$\text{za olovni oksid PbO} \dots\dots 15,08 : 223,20 = 0,0675$$

$$\text{za ugljični dioksid CO}_2 \dots\dots 38,98 : 44 = 0,8859$$

CaO i PbO među sobom se zamjenjuju, pa ćemo njihove molekularne kvocijente zbrojiti:  $0,8163 + 0,0675 = 0,8838$ ; prema tome kvocijentu stoji kvocijent CO<sub>2</sub> = 0,8859; CaO + PbO : CO<sub>2</sub> = 0,8838 : 0,8859, t. j. skoro kao 1 : 1, te imamo kemijsku formulu za tarnovicit (CaPb)CO<sub>3</sub>.

Iz formule (CaPb)CO<sub>3</sub> ne možemo razabrati, u kom uteznom omjeru stoje njegovi izomorfni spojevi, komponente CaCO<sub>3</sub> i PbCO<sub>3</sub>; ali to možemo saznati iz navedene analize tarnovicita; valja samo pomnožiti molekularne težine svakog pojedinog izomornog spoja sa njihovim molekularnim kvocijentima, pa ćemo dobiti utezne omjere ili utezne postotke: molekularna je težina CaCO<sub>3</sub> = 100,07 (Ca = 40,07; C = 12; O<sub>3</sub> = 48), PbCO<sub>3</sub> = 267,20 (Pb = 207,20; C = 12; O<sub>3</sub> = 48), dakle:

$$\text{za kalcijski karbonat CaCO}_3 \dots\dots 100,07 \times 0,8163 = 81,69\%$$

$$\text{za olovni karbonat PbCO}_3 \dots\dots 267,20 \times 0,0675 = 18,04\%$$

$$\text{Svega } 99,73\%$$

U tarnovicitu od Postenja ima dakle 81,69% uteznih postotaka kalcijskoga karbonata CaCO<sub>3</sub> i 18,04% uteznih postotaka olovnoga karbonata PbCO<sub>3</sub>.<sup>1)</sup>

Želimo li saznati, u kakvom molekularnom omjeru stoje među sobom spojevi izomorfne smjese, valja preračunati molekularne kvocijente na 100%, pa ćemo dobiti sastav izomorfne smjese u molekularnim postocima. Taj ćemo račun obaviti ovako:

za kalcijski karbonat CaCO<sub>3</sub>  $0,8163 : 0,8859 = x : 100$  daje 92,14 molekularnih postotaka kalcijskoga karbonata CaCO<sub>3</sub>;

za olovni karbonat PbCO<sub>3</sub>  $0,0675 : 0,8859 = x : 100$  daje 7,62 molekularnih postotaka olovnoga karbonata, t. j. u 100 molekula našega tarnovicita od Postenja ima oko 92 molekule CaCO<sub>3</sub> i oko 8 molekula PbCO<sub>3</sub>.

Kako smo već spomenuli, većina minerala pojavljuju se u prirodi kao čvrste otopine, kao izomorfne smjese, pa bi ih zbog toga valjalo prikazati i kemijskim formulama, koje vrijede za izomorfne smjese. Ali ipak nešto zbog kratkoće, nešto zbog lakšega pregleda često puta mnogi mineral, koji

<sup>1)</sup> Račun bi morao dati 100%, ali zbog netačnosti analize izlazi 99,73%, što je posve neznatna pogreška, koja je redovita kod kemijskih analiza.

je doista izomorfna smjesa, označujemo kemijskom formulom, kao da je kemijski čista tvar. Siderit na pr. označujemo zbog kratkoće kemijskom formulom FeCO<sub>3</sub>, ali kako je u sideritu redovito neki dio željeza zamijenjen sa Ca, Mn, Mg, on je zapravo izomorfna smjesa, te bismo ga morali označiti formulom (FeCaMnMg)CO<sub>3</sub>.

**116. Omjer sastavnih dijelova ili komponenata u izomorfnoj smjesi utiče na njezina geometrijska, fizička i kemijska svojstva. Postanak kristala mješanaca.** Svaki mineral, koji se razvio kao kemijski čista tvar, odlikuje se izvjesnim geometrijskim, fizičkim i kemijskim svojstvima, koja su uvijek stalna, pa razvijao se mineral gdje mu drago i uz koje mu drago prilike. Te stalnosti ne nalazimo kod minerala, koji su se razvili kao kristali mješanci, kao izomorfne smjese; na njihova svojstva, naročito fizička, utiče omjer sastavnih dijelova (komponenta), pa kako se mijenja omjer komponenata u izomorfnoj smjesi, mijenjaju se tako i pojedina njena svojstva. Ulazom izomornih elemenata u izomorfan mineral mijenja se njegova unutrašnja gradnja, pa ta promjena nalazi odjeka i u geometrijskim, fizičkim i kemijskim svojstvima.

a. *Geometrijska svojstva.* Često omjer pojedinih komponenata utiče na formu kristala u toliko, da su kristali mješanci nepotpunije forme od kristala svake pojedine komponente. Kadikad su kristali mješanci, na pr. u grupi minerala željezne galice, siromašni kristalnim kombinacijama, dok su kristali svake pojedine komponente vrlo bogati kombinacijama. Ali ima i obrnutih slučajeva, na pr. u grupi epidota, gdje su kristali mješanci bogatiji raznim kristalnim ploham od kristala pojedinih komponenata. Kod nekih se komponenata, kad se kristalizuju kao kemijski čista tvar, pojavljuju izvjesne plohe konstantno i one su na kristalu dominantne, a neke se plohe rijetko kada javljaju. Kad se takve komponente razviju kao izomorfna smjesa, pojavljuju se sa ploham, koje se u pojedinoj komponenti rijetko razvijaju. Tako je mineralog V. Zepharovich našao na kristalima čistoga melanterita FeSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O iz Idrije stalno kao dominantnu plohu  $r = (101)$ , dok je ploha  $r' = (\bar{1}01)$  vrlo rijetka; na kristalima mješancima, gdje se je FeSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O izomorfno izmiješao sa MgSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O, našao je baš obrnuto: ploha  $r$  vrlo je rijetka, a ploha  $r'$  konstantna je i dominantna. Negdje omjer komponenata utiče tako na geometrijska svojstva, da se ona mijenjaju proporcionalno komponentama.

Francuski mineralog M. H. Dufet istraživao je u tom smjeru gorku so MgSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O i bijelu galicu ZnSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O, pa je mogao konstatovati pravilnu vezu između kemijskih i geometrijskih svojstava obih komponenata:

Postoci.		Specifič. težina	Vrijednost kutova						
gorke soli	bijele galice		(110):(110)	(010):(111)	(111):(111)	(101):(111)	(100):(111)	(111):(111)	(110):(111)
100%	0%	1,6760 (1,6759)	89° 25'	63° 40' 30"	52° 39' (52° 39')	26° 19' 30" (26° 19' 30")	—	53° 15' (53° 14')	50° 56' (50° 55' 30")
78,88	21,12	1,7359 (1,7361)	89° 17' 30"	63° 43'	—	—	—	53° 20' (53° 16')	—
74,44	25,56	1,7472 (1,7487)	89° 15'	63° 44' 30"	52° 31' 30" (52° 31')	—	—	53° 16' 30" (53° 16')	50° 56' 30" (50° 58')
62,70	37,30	1,7815 (1,7824)	89° 11'	63° 46' 45"	—	—	—	53° 17' (53° 15')	50° 57' (51° 0')
57,59	42,41	1,7977 (1,7964)	89° 8'	63° 46' 30"	—	26° 14' (26° 13' 30")	—	53° 16' (53° 19')	50° 57' (50° 58')
42,80	57,20	1,8415 (1,8391)	89° 3' 30"	63° 49'	—	—	—	53° 16' (53° 18')	50° 59' 30" (51° 0' 30")
35,64	64,36	1,8604 (1,8595)	89° 1'	63° 48' 30" (63° 49')	—	—	—	—	51° 0'
18,11	81,89	1,9094 (1,9097)	88° 54'	63° 53'	—	—	63° 19' (63° 20')	—	51° 3' (51° 3')
0%	100%	1,9600 (1,9617)	88° 48'	63° 53' (63° 54')	52° 12'	—	—	—	—

U kakvom odnosu stoje geometrijska svojstva prema omjeru komponenata izomorfne smjese, neka pokaže ova tabela plagioklasa, koji su izomorfna smjesa albita  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$  i anortita  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ; ako označimo albit sa Ab, anortit sa An, onda je:

	(001):(010)	(001):(100)	(010):(100)	(010):(110)	(010):(110)	(001):(110)	(001):(110)	(001):(201)
Albit $\text{Ab}_1\text{An}_0$	86° 24'	63° 34 $\frac{3}{4}$ '	90° 3 $\frac{1}{2}$ '	60° 26'	60° 20 $\frac{1}{2}$ '	65° 17'	69° 10'	82° 7'
Oligoklas $\text{Ab}_8\text{An}_1$ do $\text{Ab}_2\text{An}_1$	86° 32'	63° 34 $\frac{3}{4}$ '	88° 23 $\frac{1}{2}$ '	59° 14'	61° 40'	65° 40 $\frac{1}{2}$ '	68° 48'	81° 52'
Andezin $\text{Ab}_3\text{An}_2$ do $\text{Ab}_4\text{An}_3$	86° 14'	63° 28 $\frac{1}{2}$ '	88° 20 $\frac{1}{6}$ '	59° 4'	61° 35'	65° 27 $\frac{1}{2}$ '	68° 54'	81° 44'
Labradorit $\text{Ab}_1\text{An}_1$ do $\text{Ab}_1\text{An}_2$	86° 12'	63° 54 $\frac{1}{6}$ '	88° 23'	58° 56 $\frac{1}{4}$ '	61° 22'	—	69° 22 $\frac{1}{2}$ '	—
Anortit $\text{Ab}_0\text{An}_1$	85° 50'	63° 57'	87° 6'	58° 4'	62° 26 $\frac{1}{2}$ '	65° 53'	69° 20'	81° 14'

Kod plagioklasa zapaža se pravilnost izmedju omjera komponenata i kuta (010):(110); tu se proporcionalno mijenjaju geometrijska svojstva sa promjenom omjera komponenata i što je više anortitne tvari An, postaje kut sve manji tako, da je kod čiste komponente  $\text{Ab}_1\text{An}_0$  najveći, a kod čiste komponente  $\text{Ab}_0\text{An}_1$  najmanji.

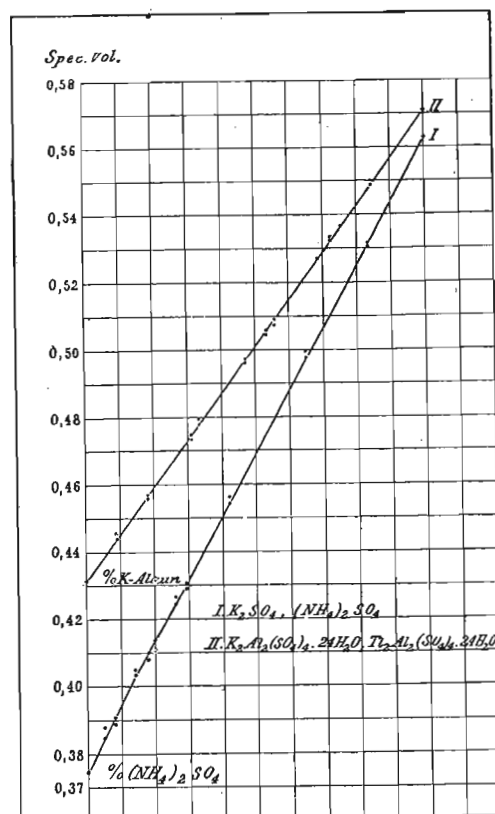
Da se sa promjenom omjera komponenata mijenjaju posve nepravilno kristalni kutovi a s njima i kristalni elementi, pokazao je P. Groth na čistim spojevima i izomornim smjesama kalijškoga perklorata  $\text{KClO}_4$  i kalijškoga permanganata  $\text{KMnO}_4$ :

	(110):(110)	(101):(101)	(021):(021)	a : b : c
$\text{KClO}_4$	76° 2,3' 75° 2'	78° 38' 78° 22,3'	76° 0,9' 77° 14'	0,7819 : 1 : 0,6396 0,7678 : 1 : 0,6259
$\text{KClO}_4$ 99,69% $\text{KMnO}_4$ 0,31%	75° 13' 75° 35' 75° 36,6'	78° 32' 78° 31,5'	76° 54' 76° 32' 76° 30'	0,7704 : 1 : 0,6298 0,7754 : 1 : 0,6339
$\text{KClO}_4$ 90,4% $\text{KMnO}_4$ 9,6%	75° 52,9' 75° 47' 75° 47'	79° 16' 78° 45,6' 78° 45,2'	75° 55,6' 75° 59,4'	0,7797 : 1 : 0,6408
$\text{KClO}_4$ 82,8% $\text{KMnO}_4$ 17,2%	76° 11' 76° 9,5'	78° 26' 78° 20'	76° 5' 75° 59,2'	0,7829 : 1 : 0,6398
$\text{KMnO}_4$	77° 8,5'	78° 18'	75° 11'	0,7974 : 1 : 0,6492

b. Fizička svojstva. Omjer sastavnih dijelova u izomorfnosti smjesi od velika je uticaja na fizička svojstva, što se naročito lijepo može posmatrati na specifičnoj težini ili specifičnom volumenu (58) izomornih smjesa. Sa promjenom pojedinih komponenata mijenja se proporcionalno i specifična težina. Već kod gorke soli  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  i bijele galice  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (vidi tabelu na str. 330.) mogli smo zapaziti, kako sa porastom bijele galice raste specifična težina. Ako unesemo utezne postotke jedne komponente neke izomorfne smjese na apscisu, a vrijednosti za specifični volumen (reciproka vrijednost spec. tež.) na ordinatu, dobit ćemo uvijek pravac, koji spaja specifični volumen jedne i druge komponente, kako se to jasno razabira na slici (sl. 756.), koja predoduje specifičan volumen i utezne procenete dvaju izomornih nizova kalijškoga amonijskoga sulfata i kalijškoga talijskoga alauna  $\text{K}_2\text{SO}_4 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  (pravac I) i  $\text{K}_2\text{Al}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O} + \text{Ti}_2\text{Al}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$  (pravac II).

Izomorfan niz  $\text{K}_2\text{SO}_4 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  (sl. 756. pravac I.)

Utezni procenti $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	Specifična težina			Specifični volumen		
	izračunata	nadjena	razlika	izračunat	nadjena	razlika
0%	—	2,666	—	—	0,3751	—
5,45	2,594	2,574	— 0,020	0,3855	0,3885	+ 0,0030
8,33	2,560	2,578	+ 0,018	0,3906	0,3879	— 0,0027
15,03	2,477	2,474	— 0,003	0,4037	0,4042	+ 0,0005
18,45	2,440	2,451	+ 0,011	0,4098	0,4080	— 0,0018
20,55	2,417	2,432	+ 0,015	0,4138	0,4112	— 0,0026
26,47	2,353	2,342	— 0,011	0,4250	0,4270	+ 0,0020
29,30	2,322	2,323	+ 0,001	0,4307	0,4305	— 0,0002
42,67	2,195	2,187	— 0,008	0,4556	0,4572	+ 0,0016
65,35	2,005	2,004	— 0,001	0,4988	0,4990	+ 0,0002
83,37	1,878	1,883	+ 0,005	0,5324	0,5311	— 0,0013
100%	—	1,774	—	—	0,5636	—



Utezni proc. 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

Sl. 756.

Izomorfan niz  $K_2Al_2(SO_4)_4 \cdot 24H_2O + Ti_2Al_2(SO_4)_4 \cdot 24H_2O$  (sl. 756. prav. II.).

Utezni procenti kalijskoga alauna	Specifična težina			Specifični volumen		
	izračunata	nadjena	razlika	izračunat	nadjen	razlika
0%	—	2,318	—	—	0,4314	—
9,62	2,248	2,246	— 0,002	0,4448	0,4452	+ 0,0004
19,32	2,182	2,190	+ 0,008	0,4583	0,4566	— 0,0017
31,15	2,106	2,110	+ 0,004	0,4748	0,4739	— 0,0009
30,98	2,105	2,109	+ 0,004	0,4751	0,4742	— 0,0009
33,70	2,090	2,070	— 0,020	0,4785	0,4831	+ 0,0046
47,13	2,012	2,015	+ 0,003	0,4970	0,4963	— 0,0007
53,86	1,975	1,985	+ 0,010	0,5063	0,5038	— 0,0025
56,16	1,962	1,966	+ 0,004	0,5097	0,5086	— 0,0011
68,43	1,898	1,898	0	0,5269	0,5269	0
72,42	1,878	1,877	— 0,001	0,5325	0,5328	+ 0,0003
75,18	1,864	1,864	0	0,5365	0,5365	0
84,54	1,820	1,821	+ 0,001	0,5491	0,5491	— 0,0003
100%	—	1,752	—	—	0,5708	—

Od fizičkih svojstava izomorfne smjese i optička su svojstva u pravilnoj zavisnosti o omjeru pojedinih komponenata. O tom nalazimo osobito lijepih podataka iz radova francuskih mineraloga *H. Dufet-a*, *E. Mallard-a* i *G. Wyrouboff-a*. Dufet je proučavao u tom smjeru izomorfnu smjesu magnezijske i nikaljske galice  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  i  $NiSO_4 \cdot 7H_2O$  i izomorfnu smjesu magnezijske i cinkane galice  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  i  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ , pa je našao, da su eksponenti loma i kut optičkih osi u pravilnoj zavisnosti o količini pojedine komponente u izomorfnoj smjesi, kako se to razabira iz priloženih tablica:

Postoci		Molekularna težina	Srednji eksponent loma $\beta$ za liniju D		
Mg-galice	Ni-galice		izračunat	nadjen	razlika
100%	0%	246	—	1,4554	—
71,65	28,35	255,02	1,4641	1,4645	+ 0,0004
59,3	40,7	259,16	1,4681	1,4675	— 0,0006
46,1	53,9	263,74	1,4725	1,4720	— 0,0005
28,05	71,95	270,24	1,4788	1,4790	+ 0,0002
20,9	79,1	272,94	1,4815	1,4830	+ 0,0015
0%	100%	281,04	—	1,4893	—

Postoci		Molekularni odnos		Kut optičkih osi		
Mg-galice	Zn-galice	Mg-galice	Zn-galice	izračunat	nadjen	razlika
100%	0%	100	0	—	78° 18' 0"	—
78,20	21,80	80,8	19,2	76° 58' 0"	76° 55' 30"	+ 2' 30"
72,43	27,57	75,5	24,5	76° 37'	76° 36'	+ 1'
38,96	61,04	42,75	57,25	74° 16'	74° 15'	+ 1'
37,20	62,80	40,95	59,05	74° 8' 40"	74° 9'	— 0' 20"
26,69	73,31	29,8	70,2	73° 17' 20"	73° 16'	— 1' 20"
0%	100%	0	100	—	70° 53'	—

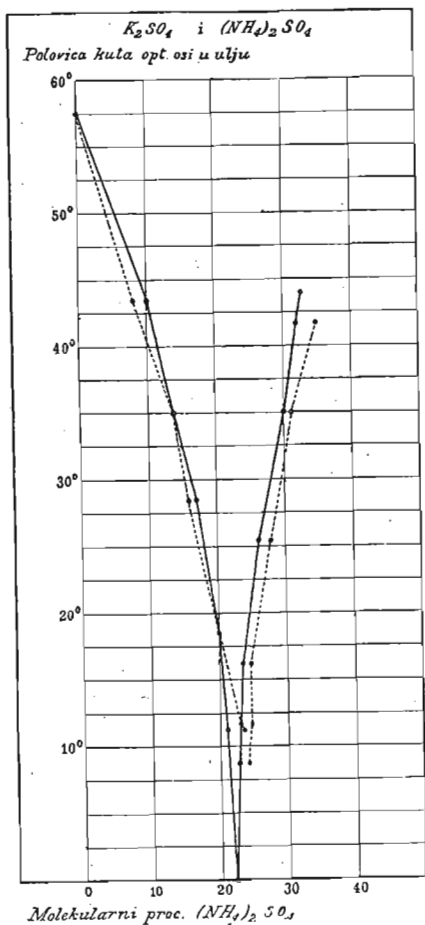
U prvoj tablici vidi se, kako sa porastom nikaljske soli raste eksponent  $\beta$ , a u drugoj tablici vidi se, kako sa porastom cinkane soli pada kut optičkih osi.

Pravilna zavisnost kuta optičkih osi o količini neke komponente u izomorfnoj smjesi vidi se i iz ovih Mallard-ovih podataka za izomorfnu smjesu kalijskoga i amonijskoga sulfata  $K_2SO_4 + (NH_4)_2SO_4$ :

Postoci $NH_4$ -soli	Broj molekula $NH_4$ -soli u 100 molek. smjese	Polovica kuta opt. osi u ulju za crveno svijetlo: H	Ravnina optičkih osi
0%	0	58° 13'	(100)
6,3	7,82	42° 52'	"
10,4	13,27	35° 8'	"
12,4	15,72	28° 10'	"
15,6	19,59	18° 22'	"
18,6	23,14	11° 15'	"
18,7	23,26	8° 47'	(001)
19,4	24,09	11° 47'	"
19,58	24,30	16°	"
22,34	27,49	25° 32'	"
25,29	30,84	35°	"
28,57	34,52	41° 45'	"



Pravilnu zavisnost kuta optičkih osi o količini pojedine komponente u izomorfnoj smjesi kalijevoga i amonijskoga sulfata pokazuje i grafičko predočenje Mallard-ovih podataka, koje vidimo na slici 757.; na apscisi su unešeni molekularni procenti amonijskoga sulfata  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , a na ordinati vrijednosti kuta optičkih osi H. Sa porastom amonijskoga sulfata pada veličina kuta optičkih osi, gdje je ravnina optičkih osi ploha (100), a gdje je ravnina optičkih osi ploha (001), kut optičkih osi raste.



Sl. 757.

Ovaj odnos, koji postoji između kemijskoga sastava minerala i njegovih optičkih svojstava naročito je proučen u grupi plagioklasa. Možemo vrlo lako da iz optičkih svojstava dobijemo sliku smjese izomorfnih kom-

ponenata u nekom plagioklasu, jer se optička svojstva pravilno mijenjaju sa promjenom pojedine komponente. Naročito ćemo moći lako saznati omjer komponenata (omjer albitne i anortitne tvari), a prema tome i vrstu plagioklasa na osnovi veličine kuta kosoga pomračenja; na toj su osobini uopće i osnovana optička istraživanja plagioklasa u izbruscima stijena. Iz priloženih tablica vidi se, kako se pravilno mijenjaju sa promjenom omjera albitne i anortitne tvari eksponenti loma, kut optičkih osi, optički karakter dvoloma i kosa pomračenja:

	Molekularni postoci anortita	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	2V	Optički karakter
Albit . . . . .	0,5	1,52825	1,53233	1,53864	77°18'	+
Oligoklasalbit . . . . .	13	1,5341	1,5381	1,5431	85°5'	+
Oligoklas . . . . .	20	1,5388	1,5428	1,5463	94°	—
Oligoklas . . . . .	25	1,5417	1,5458	1,5490	99°	—
Andezin . . . . .	37	—	—	—	90°	neutralan
Labradorit . . . . .	52	1,5553	1,5583	1,5632	75°	+
Labradorit . . . . .	56	1,5561	1,5589	1,5637	75°	+
Labradorit . . . . .	63	—	—	—	82°	+
Bitovnit . . . . .	75	1,564	1,569	1,573	94°	—
Anortit . . . . .	skoro 100	1,57556	1,58348	1,58849	103°5'	—
Ortoklas . . . . .		1,5190	1,5237	1,5260	111°	—
Mikroklin . . . . .		1,522	1,526	1,529	92'	—

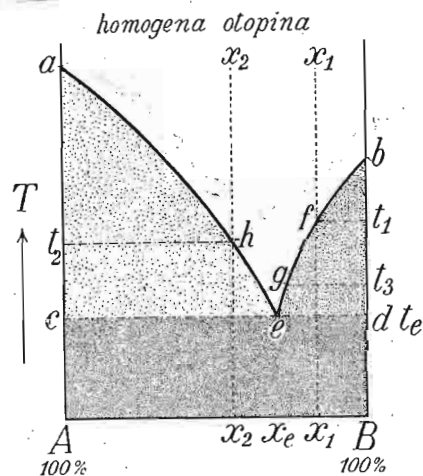
	Molekularni postoci anortita	KOSO POMRAČENJE						
		na (001)			prema plohi (001)		prema plohi (010)	
		na (001)	na (010)	na plohi $\perp$ na [001]	$\perp$ na $\gamma$	$\perp$ na $\alpha$	$\perp$ na $\gamma$	$\perp$ na $\alpha$
Albit . . . . .	0,5	+ 3,6°	+ 20,3°	- 14,9°	+ 21,8°	+ 77,6°	+ 2,8°	- 16,5°
Oligoklasalbit . . . . .	13	+ 2°	+ 13°	- 8°	+ 13°	+ 86°	- 6°	- 8,5°
Oligoklas . . . . .	20	+ 1°	+ 6°	- 0,5°	+ 7,1°	- 86,8°	- 50,3°	+ 0,6°
Oligoklas . . . . .	25	+ 0,7°	+ 3°	+ 7°	+ 1,6°	- 80,2°	+ 2,2°	+ 7,4°
Andezin . . . . .	37	- 1,4°	- 6°	+ 23°	+ 6,4°	- 62,8°	- 6,6°	+ 23,5°
Labradorit . . . . .	52	- 6°	- 17,3°	+ 27,7°	- 26,4°	- 55,5°	- 26,6°	+ 25,2°
Labradorit . . . . .	56	- 6,9°	- 20,9°	+ 29,5°	- 28,5°	- 55,6°	- 29,2°	+ 24,9°
Labradorit . . . . .	63	- 10°	- 22°	+ 35°	- 37°	- 43,8°	- 33,8°	+ 31,4°
Bitovnit . . . . .	75	- 18°	- 31°	+ 38°	- 50,1°	- 33,7°	- 39,6°	+ 33,5°
Anortit . . . . .	skoro 100	- 40,1°	- 37,6°	+ 45°	- 66,2°	- 19,1°	- 55,1°	+ 31,2°
Ortoklas . . . . .		0°	5,18°					
Mikroklin . . . . .		+ 15°30'	5°30'					

Omjer komponenata utiče znatno i na tališnost kristala mješanaca ili izomorfnih smjesa. Već smo imali prilike, kazati, da je talište kemijski čiste tvari uz konstantan tlak uvijek konstantno, dok je u nekoj smjesi uvijek niže od tališta u kemijski čistom spoju (99). Onaj omjer komponenata u nekoj smjesi, gdje se ona tali (kristalizuje) uz najnižu temperaturu, zove se eutektikum smjese ili eutektička smjesa. S obzirom na talište raznih smjesa

eutektika

obavljeno je danas mnogo pokusa tako, da možemo stvoriti sliku ne samo o taljivosti izomornih smjesa nego i o njihovoj kristalizaciji, dakle o njihovom postajanju, pošto je temperatura, kod koje se neki mineral tali, ujedno i temperatura, uz koju mineral prelazi iz tekućega u čvrsto stanje, u čvrstu fazu (99).

Sam tok kristalizacije ili taljenja možemo prikazati s pomoću dijagrama. Na našoj je slici 758. dijagram tališta (krutišta) prikazan za smjesu, koja je sastavljena samo od dvije komponente (binarni sistem); od komponente A i B, koje se miješaju u svim omjerima od 0—100%. Sastav te smjese unesemo u postocima na apscisu između A i B. Lijevo, kod A, jest čista komponenta, koja idući na desno sve više pada, ali zato raste u smjesi količina komponente B, koja na kraju naraste na 100%, t. j. kod B je čista komponenta; između A i B nalazi se dakle smjesa jedne i druge komponente u omjerima 0—100%. Na ordinati kod *a* nalazi se temperatura tališta (krutišta) čiste komponente A, a kod *b* temperatura tališta (krutišta) čiste komponente B. Između *Aa* i *Bb* leže tališta svih smjesa obih komponenta. Krivulja *ae* predstavlja tališta (krutišta) komponente A sa sve većom količinom komponente B; krivulja *be* predočuje tališta komponente



Sl. 758.

B sa sve većom količinom komponente A. U tački *e* sijeku se obje krivulje i tu je najniža temperatura, kod koje se smjesa obih komponenta tali (kristalizuje); u tački *e* nalazi se dakle eutektikum smjese. Koja god tačka u ordinatnom polju, na pr. tačka *x<sub>1</sub>* ili tačka *x<sub>2</sub>*, predstavlja smjesu izvjesnoga sastava uz izvjesnu temperaturu. Posmatrajmo na pr. tačku *x<sub>1</sub>*. Tu će otopina sastava *x<sub>1</sub>* ostati nepromijenjena sve dok temperatura ne padne

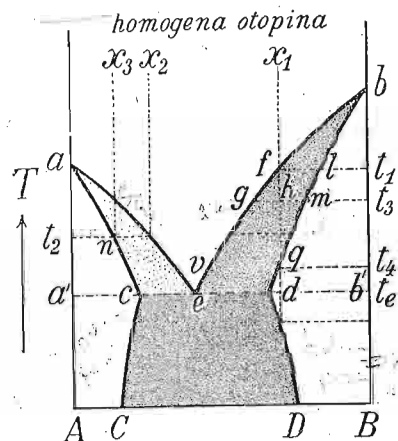
na *t<sub>1</sub>*. U tom slučaju bit će otopina sastava *x<sub>1</sub>* zasićena komponentom B i početak kristalizacije komponente B kod *f*, čime dakako postaje ostatak taljevine bogatiji komponentom A, što uzrokuje sniženje tališta niz krivulju *be*. Isto će se dogoditi i sa otopinom sastava *x<sub>2</sub>*; ona će ostati nepromijenjena sve dok temperatura ne padne na *t<sub>2</sub>*, kad će otopina postati zasićena komponentom A, koja će se početi kristalizovati kod tačke *h*. Uz temperaturu *t<sub>3</sub>* kristalizovat će se komponenta B kod *g*, a uz temperaturu *t<sub>e</sub>* bit će otopina sastava *x<sub>e</sub>* zasićena kod *e*, dakle u tački, gdje se obje krivulje sijeku t. j. u eutektiku smjese. U eutektičkoj tački otopina je sastava *x<sub>e</sub>* zasićena i komponentom B i komponentom A; prema tome će se uz temperaturu *t<sub>e</sub>* iz otopine sastava *x<sub>e</sub>* kristalizovati u isto doba i komponenta B i komponenta A, doći će do t. zv. *eutektičke kristalizacije*. Pri eutektičkoj kristalizaciji kristalizuju se obje komponente u konstantnom omjeru, koji je u našem dijagramu za komponentu B jednak *ec*, a za komponentu A jednak *ed*.

Na dijagramu možemo razabrati četiri polja. U polju iznad *aeb* sva je smjesa taljevina, dakle homogena otopina; u polju između *bde* otopina je zasićena komponentom B, koja se tu kristalizuje kao kemijski čisti spoj i tu se zato nalaze kristali komponente B zajedno sa otopinom, s kojom su u ravnoteži; u polju između *aec* otopina je zasićena komponentom A, koja se tu kristalizuje, te se tu nalaze kristali komponente A uklopljeni u taljevinu, s kojom su u ravnoteži. U polju *ABcd* sve je zasićeno i komponentom B i komponentom A; tu se kristalizuju uz konstantnu temperaturu u isto doba obje komponente u konstantnom omjeru kao kemijski čisti spojevi sve dok čitava otopina ne prijedje u čvrstu fazu. Vidimo dakle, da neka smjesa nema stalna tališta nego tališni (kristalizacioni) interval, koji zavisi o omjeru komponenta u smjesi; stalno talište imaju samo kemijski čiste tvari i eutektičke smjese.

Mi smo do sada govorili o takvom binarnom sistemu, iz koga se padanjem temperature izlučuju kristali jedne i druge komponente kao kemijski čista tvar. Ali možemo imati smjesu dviju komponenta, koje će se pri kristalizaciji razviti kao kristali mješanci. Pri razvitku kristala mješanaca iz nekoga binarnoga sistema moguće je prema pokušajima, što ih je prvi obavio *W. H. Bakhuis-Roozeboom*, pet kristalizacionih tipova. Zauzavim ćemo se kod onoga tipa, gdje ne dolazi do neprekidnoga miješanja obih komponenta, nego gdje jedna čista komponenta može da primi u sebe tek ograničenu količinu druge komponente kao čvrstu otopinu.

Ako taj tip kristalizacije prikazemo pomoću dijagrama (sl. 579), dobit ćemo krivulje *ac* i *bd* i krivulje *cC* i *dD*, koje se ne podudaraju sa ordinatnom *Aa* i *Bb* kao u slici 758. Krivulja *bd* prikazuje sastav kristala mješanaca sa pretežitom količinom komponente B, koji se nalaze u ravnoteži sa taljevinom sastava, kako ga prikazuje krivulja *be*. Jednako tako krivulja *ac* prikazuje

sastav kristala mješanaca sa pretežitom količinom komponente A, koji se nalaze u ravnoteži sa taljevinom sastava, kako ga prikazuje krivulja *ae*. Obje krivulje, *ae* i *be*, sijeku se u eutektičkoj tački *e*, gdje dolazi do izlučivanja kristala mješanaca sastava *c* i *d*. Između *cdCD* ne izlučuju se kristali mješanci; u tom se dijelu nalazi jaz smjese. Neka se dakle homogena otopina (taljevina) sastava  $x_1$  stane ohladjivati. Kad temperatura padne na  $t_1$ , počinje izlučivanje kristala mješanca sastava *l*, koji je u ravnoteži sa otopinom sastava *f*; taj je kristal mješanac sastavljen pretežito od komponente B, koja je primila malu količinu komponente A.



Sl. 759.

Uz temperaturu  $t_3$  izlučuje se kristal mješanac sastava *m*; on je u ravnoteži sa otopinom sastava *g*. Između krivulje *be* i *bd* nalazi se otopina sa kristalima mješancima. Kod temperature  $t_3$  omjer se između kristala mješanaca i otopine odnosi kao dužine *gh*:*hm*. Uz temperaturu  $t_4$  dužina *hm* neizmjenjivo je malena, t. j. uz tu temperaturu prelazi sva otopina sastava  $x_1$  u čvrstu fazu, u kristale mješance sastava *q*, koji su u ravnoteži sa otopinom sastava *v*. Iste te prilike postoje i za otopinu sastava između *db'*; i tu je sve prešlo u čvrstu fazu, u kristale mješance. Prema tome graniči krivulja *be* sa homogenom otopinom (taljevinom) i zato je zovemo likvidus-krivulja; krivulja *bd* graniči sa homogenom čvrstom fazom i zovemo je zato solidus-krivulja. Između solidus-krivulje i likvidus-krivulje nalazi se otopina i kristali mješanci. Jednako je tako likvidus-krivulja *ae*, a solidus-krivulja *ac*. U polju između *aeb* nalazi se homogena otopina; u polju *acedb*, t. j. između likvidus- i solidus-krivulje nalazi se otopina i kristali mješanci i to u polju *bde* kristali mješanci sa pretežitom komponentom B, u polju *ace* kristali mješanci sa pretežitom komponentom A;

u polju *bdDB* i *acCA* nalazi se čvrsta faza, kristali mješanci i to na desnoj strani sa pretežitom količinom komponente B, na lijevoj strani sa pretežitom količinom komponente A. U jazu smjese *cCDde* nema homogenih kristala mješanaca nego se tu nalaze heterogeni mješanci, t. j. kristali sastava *c* i *d*. U ovaj tip kristalizacije, gdje je mješanje komponenata u čvrstu otopinu ograničeno, možemo svrstati sistem ortoklas-albit, koji je prikazan u našem dijagramu (sl. 760.). Talište je čista ortoklasa kod kojih  $1200^\circ$ , albita kod kojih  $1100^\circ$ ; dakle se oba minerala gotovo uz istu temperaturu tale (kristalizuju). Ortoklas (u sl. 759. komponenta B) ima sposobnost da primi u svoj sastav najviše 28% albita (u sl. 759. komponenta A) u formi čvrste otopine, stvarajući homogene kristale mješance (u sl. 759. sastava *d*); albit može da primi samo 12% ortoklasa i tako postaju kristali mješanci sastava *c*. U jazu smjese kod temperature  $t_e$  i ispod te temperature izlučuju se u isto doba kristali mješanci sastava *c* i *d*, t. j. ne razvija se homogeni nego heterogeni kristal mješanac t. zv. pertit ili ortoklas sa uložnim lamelama albita.

Vratimo se na čas početnom stanju kristalizacije homogene smjese sastava  $x_1$ , kad je temperatura pala na  $t_1$  (sl. 759.). Uz tu se temperaturu kristalizuje kristal sastava *l*. Kod daljnega ohlađivanja izlučuju se kristali sastava *m*, *q*, *d* a uz to se postepeno mijenja sastav otopine od *f* do *e*. Kristali, koji su se prvi izlučili, na pr. kristali *l* i *m*, nisu više u ravnoteži sa otopinom, koja se prema *e* postepeno mijenja; u tako promijenjenoj otopini može da se dogodi dvoje:

1. Stariji kristali, koji su se prvi izlučili, pošto su postali nepostojani u otopini, kojoj se sastav promijenio, budu resorbovani<sup>1)</sup>, otope se. Otopanje ili resorpcija zahvati sve kristale, koji su se izlučili iznad temperature  $t_4$ , pa se kod te temperature izlučuju homogeni kristali mješanci *q*, koji imaju sastav smjese  $x_1$ . Resorpcija zavisi o trajanju ohlađivanja i o stupnju viskoznosti otopine.

2. Može se dogoditi da resorpcija bude nepotpuna ili da do nje uopće i ne dodje. Izostane li resorpcija, razvijaju se kristali mješanci sa zonarnom ili lupinastom gradnjom tako, da je jezgra kristala drugačijega sastava negoli vanjski dijelovi ili lupine; kristal raste tako, da se prema vani omjer komponenata neprestano mijenja; dolazi do t. zv. frakcionirane kristalizacije. Kristal mješanac sastava *l* bude opkoljen lupinama sastava *m* i *q*, koje su kristalografski jednako orijentirane kao i jezgra.

Pri razvitku zonarno gradjenih kristala (ili kristala mješanaca uopće) vrijedi ovo pravilo (postavio ga je prvi Konowalow g. 1881. za kristalizaciju binarnih smjesa): najstariji kristali (ili jezgra u zonarno gradjenim kristalima) bogatiji su onom komponentom, čiji pridodatak smjesi povišuje talište

<sup>1)</sup> Od lat. *resorbere*, natrag u se usrkati:

smjese; ili još jednostavnije: jezgra je u zonarno gradjenom kristalu bogatija onom komponentom, koja se teže tali. Konowalowljevo pravilo dolazi do izražaja naročito u grupi plagioklasa, koje možemo ubrojiti među najkarakterističnije zonarno gradjene kristale. Njihova se lupinasta gradnja da osobito lijepo posmatrati s pomoću mikroskopa. Pri njihovu razvitku kristalizuju se najprije plagioklasi sa pretežitom količinom anortitne tvari  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ . Kako se kristalizacija postepeno razvija, postepeno se mijenja kemijski sastav otopine, iz koje se plagioklasi razvijaju; otopina postaje sve kiselija ili bogatija albitnom tvari  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ . U kasnijem stepenu kristalizacije razvijaju se iz otopine plagioklasi, koji imaju sve više albitne tvari, a manje anortitne, te se na kraju iskristalizuje plagioklas kao kristal mješanac, kao izomorfna smjesa, koja je u središnjim dijelovima sastavljena od pretežite anortitne tvari, a na rubovima od pretežite albitne tvari; jezgra zna biti sam anortit, a rubovi sam albit; između jezgre i rubova vidi se pomoću mikroskopa čitav sklop debljih i tanjih lupina, koje pripadaju pojednim članovima niza plagioklasove grupe.

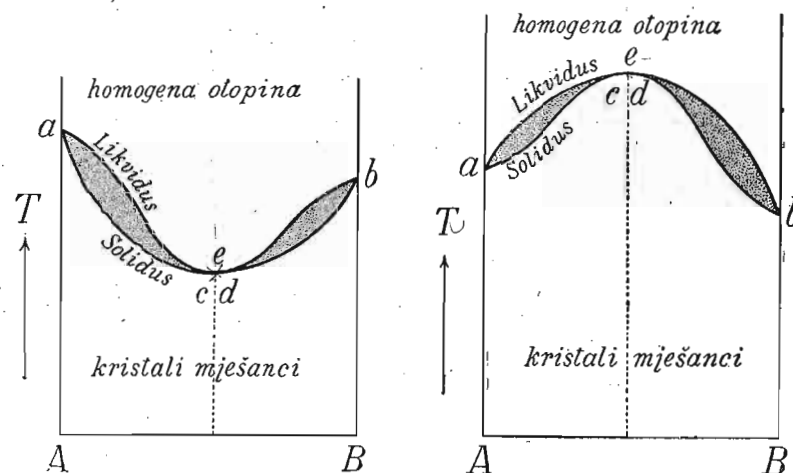
Takovu lupinastu gradnju nalazimo i kod piroksena, granata (sl. 554.), turmalina i t. d. Gdje pojedine komponente sadržavaju po koji metalni oksid na pr. oksid željeza, kroma, mangana, koji daje spoju izvjesnu boju, vidi se lupinasta gradnja već golim okom. Takvom se lupinastom gradnjom odlikuju naročito turmalini, kod kojih se izmjenjuju u pojedinim lupinama ili ovojima kao izomorfni spojevi oksidi željeza, mangana i kroma. Svaka lupina u turmalinu druge je boje, jer je i drugoga kemijskoga sastava; neke su lupine crvene, neke ružičaste, neke zelene, neke smeđe, neke crne i t. d.

Lupinasto gradjeni kristali mješanci dakako da nisu u svim svojim dijelovima homogeni. Već smo kod plagioklasa naglasili, kako je jezgra bazična a vanjska lupina kiselja; jezgra je naime sastavljena od anortita, a vanjski rub od albita. Ali homogenost izomorfne smjese ipak nije tim nikako poremećena, jer svaki ovoj ili lupina predstavlja zasebnu izomorfnu smjesu, koja je sama za sebe potpuno homogena; u svakom ovoj omjer je izomornih komponenata različit, pa je tako svaki ovoj drugoga kemijskoga sastava.

Ako u dijagramu sl. 759. postane polje  $bdDB$  i  $acCA$  neizmjereno maleno ili ako se  $bdD$  posve podudara sa  $bB$  i  $acC$  sa  $aA$ , dobit ćemo dijagram, kako ga prikazuje sl. 753., t. j. jaz smjese zapremić će sve omjere komponenata od 0—100%, i ne će doći uopće do razvitka kristala mješanaca, nego do čistih komponenata. Jaz smjese zavisi o temperaturi i tlaku tako, da sposobnost miješanja obih komponenata stoji do vanjskih prilika; obično sa padanjem temperature pada i sposobnost miješanja, pa se u tom slučaju jaz smjese proširuje.

Kako od tipa kristalizacije mješanaca, koji je prikazan u dijagramu sl. 759., možemo prijeći do tipa kristalizacije čistih komponenata, kako ga

prikazuje dijagram sl. 758., tako možemo prijeći do drugoga tipa kristalizacije mješanaca na taj način, da jaz smjese postane sve užić;  $c$  i  $d$  se više približuju eutektičkoj tački, dok se najposlije u njoj ne sastanu tako, da se likvidus- i solidus-krivulje dodiruju u  $e$ . U ovakovom slučaju obje se komponente, A i B, mogu miješati u svim omjerima, pa se tako razvije neprekinuti niz kristala mješanaca. To se događa kad su obje komponente kristalografski srodne, kad se kristalizuju u istoj kristalnoj klasi. Kristali mješanci ovoga tipa sličnoga su sastava, pa ako dodje do frakcionirane kristalizacije, razvijaju se zonarno gradjeni kristali i to između  $a$  i  $e$  sa sve većom količinom komponente B, a između  $b$  i  $e$  sa sve većom količinom komponente A idući od jezgre prema rubu kristala. Kako se u eutektičkoj tački  $e$  nalazi minimalna temperatura, zovemo ovaj tip neprekinuti tip mješanaca sa minimom (sl. 761.).



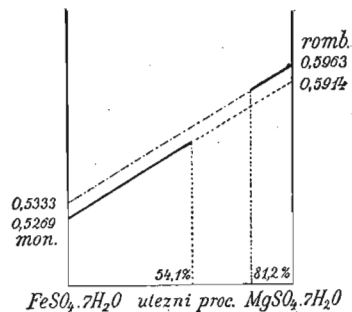
Sl. 761.

Sl. 762.

U ova tri tipa, o kojima smo do sada govorili, temperatura se tališta (kristalizacije) jedne komponente uz dodatak druge snizila. Ali kod razvitka kristala mješanaca može se i to dogoditi, da likvidus- i solidus-krivulje imaju više talište od čistih komponenata. Obje se krivulje sastaju u maksimumu temperature kod tačke  $e$  (sl. 762.). I u ovom slučaju dolazi do razvitka neprekinutoga niza kristala mješanaca, do mješanaca sa maksimumom. Tip mješanaca sa maksimumom vrlo je rijedak. Proučavati je kod binarnoga sistema  $\text{K}_2\text{SO}_4 - \text{SrSO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4 - \text{BaSO}_4$  i  $\text{CaCO}_3 - \text{Na}_2\text{CO}_3$ . Ako u tipu sa maksimumom dolazi do frakcionirane kristalizacije, razvijaju se zonarno gradjeni kristali i to između  $a$  i  $e$  sa sve većom količinom komponente A,



od komponenata postojana kao čisti spoj, a neka nepostojana. Tako na pr. gorka so  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  i željezna galica  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  mogu da stvaraju kristale mješance; gorka so je postojana kao rompska, a nepostojana kao, monoklinska modifikacija, naprotiv je željezna galica postojana kao monoklinska, a nepostojana kao rompska modifikacija. Iz vodene otopine uz običnu temperaturu mogu se razviti mješanci monoklinske forme željezne galice; koji imaju 54,1%  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ . Preko toga postotka ne može da dodje do stvaranja mješanaca monoklinske forme. Zaključujemo dakle, da se magnezijski sulfat sa 7 molekula vode može kristalizovati i monoklinski. U razvitku kristala mješanaca pomenutih dvaju spojeva postoji jaz sve do 81,2%  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , gdje se ne mogu stvarati kristali mješanci nego samo čisti spojevi jednoga i drugoga sulfata. No od 81,2% dalje razvijaju se opet kristali mješanci, ali rompske forme gorke soli, pa se prema tome željezni sulfat sa 7 molekula vode može kristalizovati i rompski; oba su dakle spoja izodimorfna.



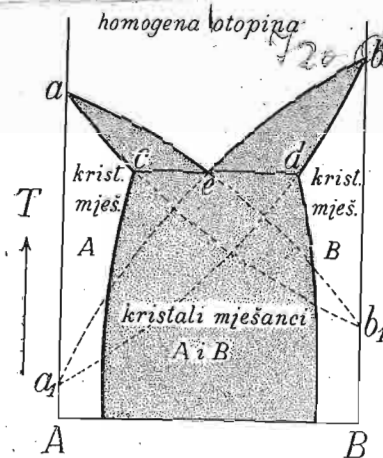
Sl. 765.

Ako unesemo utezne procenata izodimorfne smjese na apscisu, a specifične volumene na ordinatu, dobit ćemo dijagram, koji se znatno razlikuje od dijagrama izomornih smjesa. Kod izomornih smjesa mijenja se proporcionalno sa promjenom pojedinih komponenata specifični volumen jedne i druge komponente (sl. 756.); jednako se i kod izodimornih (izopolimornih) smjesa mijenja proporcionalno specifični volumen sa promjenom komponenata, samo se te promjene ne daju prikazivati sa jednim nego sa dva pravca, koja se vežu za specifičan volumen stabilne modifikacije. Ako produljimo oba pravca, dobit ćemo specifični volumen čiste komponente (sl. 765.).

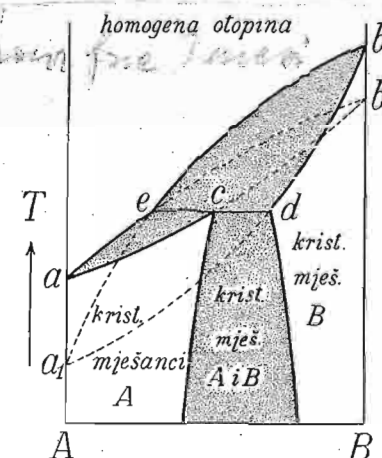
U dijagramu (sl. 765.) se jasno vidi, da se smjese sa 0 do 54,1%  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  vežu za čisti  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , koji ima specifični volumen 0,5269; te se smjese kristalizuju monoklinski i imaju specifične volumene, koje prikazuje donji pravac, što se u produženju na lijevo veže za specifičan volumen čistoga  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , a u produženju na desno za specifičan volumen čistoga

$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  tako, kao da se u smjesi nalazi  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  sa manjim specifičnim volumenom (0,5914). Smjese sa 81,2 do 100%  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  kristalizuju se rompski; one imaju specifične volumene, koje prikazuje gornji pravac, što se u produženju na lijevo veže za specifičan volumen čistoga  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , a u produženju na desno za specifičan volumen čistoga  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  tako, kao da se u smjesi nalazi  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  sa većim specifičnim volumenom (0,5333). U dijagramu se jasno razabira jaz u nizu izodimorfne smjese.

Ako i nije poznata koja komponenta u slobodnom stanju nego samo kao čvrsta otopina, kao izomorfna smjesa, možemo na osnovi dijagrama doći do zaključka o nekim njezinim svojstvima, na pr. o veličini njezina specifična volumena. Tako bi na pr. čista komponenta  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  mo-



Sl. 766.



Sl. 767.

monoklinske modifikacije imala manji specifični volumen od rompske modifikacije, a čista komponenta  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  rompske modifikacije veći specifični volumen od monoklinske modifikacije. Jednako tako raste specifični volumen stalerita  $\text{ZnS}$  sa većom količinom  $\text{FeS}$ , ma da je specifični volumen heksagonske modifikacije  $\text{FeS}$  (pirotin) manji od specifičnoga volumena stalerita; prema tome bi teseralna modifikacija  $\text{FeS}$ , koja do danas nije poznata, morala imati veći specifični volumen (ili manju specifičnu težinu) nego li heksagonska modifikacija, pirotin.

Dijagram, (sl. 766. i 767.), koji prikazuje razvitak izodimornih smjesa, podudara se izvanjom formom sa dijagramom, koji prikazuje razvitak izomornih smjesa (sl. 759.) u kombinaciji sa dva tipa slike 763; Neka bude u dijagramu (sl. 766.)  $a$  postojana,  $a_1$  nepostojana forma komponente A; isto tako neka bude  $b$  postojana,  $b_1$  nepostojana forma kompo-

nente B;  $a$  i  $b_1$  zatim  $b$  i  $a_1$  neka su izomorfní. Kako je talište postojane forme više od tališta nepostojane forme, to je  $Ta > Ta_1$  i  $Tb > Tb_1$ . Između  $ab_1$  i  $ba_1$  nalazi se neprekinuti niz kristala mješanaca, od kojih su jedni postojani (izvučeni dio krivulje), jedni nepostojani (iscrtkani dio krivulje). Ako je  $Ta > Tb_1$  i  $Tb > Ta_1$ , padaju obje krivulje na različite strane (sl. 766.); ako je  $Ta < Tb_1$  i  $Tb_1 > Ta_1$ , padaju obje krivulje na istu stranu (sl. 767.); u jednom i drugom slučaju razvijaju se izodimorfni kristali mješanci sa jazom u smjesi, pa ako je pri razvitku došlo do frakcionirane kristalizacije, postaju u tipu sl. 766. zonarno gradjeni mješanci sa lupinama, koje su bogatije lijevo od eutektičke tačke komponentom B, a desno od eutektičke tačke komponentom A idući prema rubu kristala; u tipu sl. 767. zonarno gradjeni kristali imaju lupine na jednu i na drugu stranu eutektičke tačke bogatije komponentom A idući prema rubu kristala.

Pojava izomorfije davno je poznata u mineralogiji. Prvi je bio francuski mineralog *Romé de l'Isle*, koji ju je pokusima dokazao; on je našao (1772.), da se smjesa bakarne galice  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ , koja se kristalizuje trikliniski i željezne galice, koja se kristalizuje monoklinski, kristalizuje takodjer monoklinski, dakle u formi željezne galice. Nekoliko godina kasnije (1801.) potvrdio je *N. Leblanc* mnogim pokusima sa raznim solima ispravnost istraživanja *Romé de l'Isle*-a; tako je na pr. *Leblanc* dokazao, da se kristalna forma alauna ne mijenja, ako u njem zamijenimo  $Al_2O_3$  sa  $Fe_2O_3$ . Do sličnih je rezultata došao i *Vauquelin*, kad je dokazao (1779.), da se u alaunu može zamijeniti K sa  $NH_4$ . *Gay-Lussac* je pokazao (1816.), da se iz otopina, koje su sastavljene od kalijškoga i amonijskoga alauna, ne razvijaju samo kristali mješanci, nego da kristal jednoga može da raste u otopini drugoga alauna. Mnoge pokuse, koji su se ticali dobivanja kristala mješanaca, obavio je (1809.) *Bernhardi*; on je zapazio, da različite tvari mogu imati jednake forme i da jedna tvar može da primi neku drugu, pa joj daje onda svoju formu. Tako se kristalizuju smjese bakarne i željezne galice sad u formi jedne, sad u formi druge soli, dok se smjesa cinkane i željezne galice ili cinkane i bakarne galice kristalizuje redovito monoklinski ili trikliniski, dakle u formi željezne ili bakarne galice, a gotovo nikad rompski, t. j. u formi cinkane galice, pa ni onda, ako je u smjesi cinkana galica pretežita. Još su važniji radovi *F. S. Beudanta*, u kojima je proučavao (1818.) uvjete, uz koje se vrši kristalizacija kristala mješanaca, i uticaj tuđih primjesina na promjenu kristalne forme; on je prvi shvatio kristale mješance kao kemijske smjese nestalnih omjera.<sup>1)</sup> Pri svojim pokusima dobio je *Beudant* kristale mješance željezne i cinkane galice u formi i jedne i druge soli i odredio je, koliko mora biti u smjesi željezne galice, ako želimo dobiti kristale mješance u formi željezne galice, a koliko cinkane galice, ako želimo dobiti kristale mješance u formi cinkane galice. Vrlo su važni i pokusi *Wollastonovi*, gdje je dobio kristale mješance cinkane i bakarne galice u formi željezne galice, ma da u smjesi nije bilo ni traga željeznoj galici. *J. N. Fuchs* shvatio je (1815.) kristale mješance kao kemijske spojeve, u kojima se

<sup>1)</sup> „Mélanges chimiques ou association non mécanique en proportion indéfinie“ *Annales des mines*, 1818. 3, pag. 254.

može jedan sastavak da zamijeni drugim; takve sastavke nazvao je „vikarirajućima“ ili sastavcima zamjenicima.

Koliko je god pojava izomorfije bila poznata mineralozima, nijedan od njih nije zašao u prirodu same te pojave, izuzev *Beudanta*, koji je bar donekle istakao vezu između kemijskoga sastava i forme kristala. Prvi, koji se bacio (1818.) na proučavanje prirode kristala mješanaca, bio je švedski mineralog i kemik *Eilhardt Mitscherlich*; on je proučavajući (1818.) kalijške i natrijske soli fosforne i arsenske kiseline ( $H_2KPO_4$ ,  $-H_2(NH_4)PO_4$ ,  $-H(NH_4)_2PO_4$ ,  $-HNa_2PO_4 \cdot 12H_2O$ ,  $-HNaPO_4 \cdot 7H_2O$ ,  $-H(NH_4)NaPO_4 \cdot 4H_2O$  —  $H_2NaPO_4 \cdot H_2O$  i jednake arsenske soli) zapazio, da analogno sastavljeni spojevi imaju i slične kristalne forme. Tom prilikom istakao je i jednakost formi kod rompskih sulfata barita, celestina i anglezita, te kod romboedrijskih karbonata kalcita, siderita i rodohrozita, pa je upozorio, da se smjese mnogih karbonata „ne spajaju po stalnim omjerima“ (na pr. kalcijski karbonat sa željeznim karbonatom ili magnezijskim karbonatom). Proučavao je on i sulfate bakra, magnezija, željeza, kobalta, nikla, mangana, cinka, kalija, amonija —  $K_2Mg(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ ,  $-(NH_4)_2Mg(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ ,  $-K_2Cu(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ ,  $-(NH_4)_2Cu(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ ,  $-(NH_4)_2Mn(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ ,  $-K_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ ,  $-(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ ,  $-K_2Co(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ ,  $-(NH_4)_2Co(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ ,  $-K_2Zn(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ ,  $-(NH_4)_2Zn(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ ,  $-K_2Ni(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ ,  $-(NH_4)_2Ni(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ , — pa je došao do ovakoga zaključka: ako različiti oksidi sa istom kiselinom stvaraju jednako sastavljene soli, onda su ti oksidi izomorfní. Ta riječ „izomorfan“ potiče od samoga *Mitscherlicha* i on ju je prvi put upotrebio u jednom svome radu iz god. 1821. Kao glavnu osobinu izomorfnih tijela istakao je njihovu sposobnost, da se ne spajaju po stalnim nego po promjenljivim omjerima, na što je već i *Beudant* jednom prilikom (1818.) upozorio. *Mitscherlich* je doveo u vezu kemijski sastav minerala sa njihovom kristalnom formom, na što je takodjer *Beudant* upozorio, kad je kazao, da tudje primjesine utiču na promjenu kristalne forme. Po *Mitscherlichovu* shvaćanju ona su tijela izomorfna, koja uz analogan kemijski sastav imaju i slične kristalne forme; kristalna forma nije zavisna o kemijskoj prirodi atoma, nego o njihovu međusobnu položaju u spoju.<sup>2)</sup>

Kako je sa pojavom polimorfije došla u sukob *Haüy*-eva teorija o stalnosti kristalne forme nekoga tijela, tako je došla u sukob i sa pojavom izomorfije. I tu se povela velika borba, pa u to doba nalazimo među pristalicama i protivnicima *Haüy*-eve teorije čitav niz uvaženih mineraloga, kemika i fizika. Ta je borba o ispravnost jedne i druge teorije donijela mineraloškoj nauci mnogo koristi, ona je unijela mnogo svijetla u kristalografska i kemijska svojstva minerala.<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Zaključak, do kojega je došao *Mitscherlich* na osnovu svojih radova, glasi: „Le même nombre d'atomes combinés de la même manière produit la même forme cristalline; et la même forme cristalline est indépendante de la nature chimique des atomes, et n'est déterminée que par le nombre et la position relative des atomes“. *Annales de chimie et de physique*, 1821. 19, p. 419.

<sup>2)</sup> *A. Arzruni*: *Physikalische Chemie der Krystalle*, pag. 78. — *P. Groth*: *Einleitung in die chemische Kristallographie*, pag. 44. — *F. Brauns*: *Chemische Mineralogie* pag. 179. — *P. Niggli*: *Lehrbuch der Mineralogie*, pag. 531. — *H. E. Boeke und W. Eitel*: *Grundlagen der physikalisch-chemischen Petrographie*; zweite Auflage, pag. 99.

118. Ulazom tudje tvari u kemijski sastav nekoga minerala mijenja se njegova kristalna forma (morfotropija) ili njegova struktura (topotropija). Govoreći o kristalima mješancima, kazali smo, da omjer komponenata utiče na njihove kristalne forme (116). Čim u nekom kemijskom spoju zamijeni jedan elemenat drugi koji elemenat (elementi zamjenici) ili radikal neki drugi radikal (111), dolazi do promjene strukture, koja nalazi odraza i u promjeni kristalne forme takvoga spoja. Promjene kristalne forme, koje postaju ulazom elemenata zamjenika ili radikala u neki kemijski spoj, nazvao je *P. Groth morfotropiskima*, a samu pojavu *morfotropijom*. Morfotropske promjene najjasnije se zapažaju u promjeni plošnih kutova, pa dakako one utiču onda i na osni odnos minerala, što ćemo osobito lijepo vidjeti na pr. kod rompskih karbonata i sulfata kalcija, stroncija, olova i barija:

$a : b : c$	$a : b : c$
CaCO <sub>3</sub> 0,6228 : 1 : 0,7204	CaSO <sub>4</sub> 0,89325 : 1 : 1,0008
SrCO <sub>3</sub> 0,6090 : 1 : 0,7237	SrSO <sub>4</sub> 0,77825 : 1 : 1,2801
PbCO <sub>3</sub> 0,6102 : 1 : 0,7232	PbSO <sub>4</sub> 0,78516 : 1 : 1,2894
BaCO <sub>3</sub> 0,5949 : 1 : 0,7413	BaSO <sub>4</sub> 0,81520 : 1 : 1,3136

Stroncij i olovo stvarajući soli (na pr. karbonate i sulfate), kristalizuju se u vrlo sličnim formama, kako se to razabira iz osnoga odnosa (njihovom međusobnom zamjenom dolazi do posve neznatnih promjena). Ali ako zamijenimo stroncij ili olovo sa barijem, opaža se, kako se ulaskom barija u spoj mijenja forma u toliko, da os  $c$  postaje duža; došlo je dakle do morfotropske promjene, koja je osobito izrazita samo u jednom smjeru, u smjeru glavne osi, dok je suos  $a$  ostala gotovo nepromijenjena. Udje li u pomenutim spojevima na mjesto olova ili stroncija kalcij, doći će do morfotropske promjene, koja će se očitovati u skraćanju osi  $c$  i u produženju osi  $a$ . Lijepo ćemo zapaziti te promjene i kod tarnovicita (CaPb)CO<sub>3</sub>, koji je izomorfna smjesa kalcijeskoga CaCO<sub>3</sub> i olovnoga PbCO<sub>3</sub> karbonata. Zamjenom jednoga dijela kalcija u aragonitu sa olovom (ili što je isto: zamjenom jednoga dijela olova u cerusitu sa kalcijem) skraćuje se os  $a$ , a produžuje se os  $c$  idući od aragonita cerusitu. Tarnovicit od Postenja na Drini sa 81,72% CaCO<sub>3</sub> i 18,19% PbCO<sub>3</sub> ima osni odnos  $a : b : c = 0,6200 : 1 : 0,7208$ .

Morfotropske promjene zapažaju se dakle u osnim odnosima članova nekoga izomorfna niza; prisposobljavajući osne odnose tih članova, dobivamo tek opći pregled u veličini promjene, ali se ne zapaža, koja je od tri kristalne osi morfotropijom naročito promijenjena. Da i to saznamo, uveli su *Becke i Muthmann* topske parametre  $\chi$ ,  $\psi$ ,  $\omega$ , koji predstavljaju dužine stranica (osi) elementarnoga paralelepipeda, koji izgrađuje prostornu mrežu kristala (58); oni predstavljaju relativne udaljenosti kristalnih molekula. Ako na pr. amonijskome kloridu NH<sub>4</sub>Cl, bromidu NH<sub>4</sub>Br i jodidu

NH<sub>4</sub>J, koji se kristalizuju teseralno sa heksaedrijskom strukturom, nadjemo njihove topske parametre; dobit ćemo ove vrijednosti za dimenzije njihova elementarnoga paralelepipeda:

	NH <sub>4</sub> Cl	NH <sub>4</sub> Br	NH <sub>4</sub> J
osi $\chi = \psi = \omega =$	3,2685	3,5158	3,8698

Vidimo dakle, kako se ulazom broma i joda na mjesto klora mijenjaju dimenzije elementarnoga paralelepipeda i to tako, da sa većom atomskom težinom rastu i dimenzije elementarnoga paralelepipeda. Te ćemo promjene zapaziti, ako u amonijskom jodidu NH<sub>4</sub>J zamijenimo H<sub>4</sub> sa metilom CH<sub>3</sub>, etilom C<sub>2</sub>H<sub>5</sub> i propilom C<sub>3</sub>H<sub>7</sub>, pa ćemo dobiti tetrametil amonijski jodid N(CH<sub>3</sub>)<sub>4</sub>J, tetraetil amonijski jodid N(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>4</sub>J i tetrapropil amonijski jodid N(C<sub>3</sub>H<sub>7</sub>)<sub>4</sub>J sa ovim odnosom topskih parametara:

	NH <sub>4</sub> J	N(CH <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> J	N(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>4</sub> J	N(C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> ) <sub>4</sub> J
os $\chi =$	3,8698	5,3328	6,6653	6,1087
os $\psi =$	3,8698	5,3328	6,6653	7,8710
os $\omega =$	3,8698	3,8519	3,6953	4,9454

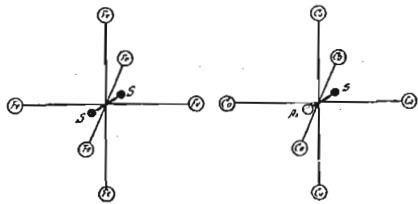
Ulazom CH<sub>3</sub> na mjesto H<sub>4</sub> promijenio se elementarni paralelepiped u toliko, da su mu se horizontalne dimenzije ( $\chi$  i  $\psi$ ) jednolično uvećale, a vertikalne dimenzije ( $\omega$ ) umanjile, t. j. tetrametil amonijski jodid kristalizuje se tetragonski; isto se događa i ulazom C<sub>2</sub>H<sub>5</sub> na mjesto H<sub>4</sub>, pa se i tetraetil amonijski jodid kristalizuje tetragonski. Ulazom C<sub>3</sub>H<sub>7</sub> na mjesto H<sub>4</sub> zbile su se u elementarnom paralelepipedu još veće promjene; sve tri su se osi različito promijenile, pa se tetrapropil amonijski jodid kristalizuje rompski.

Ove promjene osnoga odnosa ili topskih parametara, koje se zbivaju ulazom neke tvari u kemijski sastav tijela, svakako su uvjetovane promjenom strukture tijela; promjene, koje se na taj način zbivaju u strukturi kristala, nazvao je *A. Johnsen topotropskima*, a samu pojavu *topotropijom*. Dok se dakle morfotropija odnosi na promjene kristalne forme, odnosi se topotropija na promjene unutrašnje gradje, pa te topotropske promjene možemo upoznati pomoću röntgenografskoga istraživanja, koje omogućuje pogled u poredaj atoma. U tom smjeru istraživao je *M. Mechling* strukturu kobaltina CoAsS s obzirom na strukturu pirita FeSS, gdje je jedan dio sumpora zamijenjen arsenom. Röntgenografskim istraživanjem došli su *W. H. i W. L. Bragg* do strukturne šeme pirita, kako je pokazuje slika 768.; Fe se nalazi na uglovima i na sredini stranice elementarne kocke, kojoj su dužine bridova (ivica)  $5,49 \cdot 10^{-8}$  cm; S<sub>2</sub> kao dvostruki atom položen je centrosimetrijski na trigirama. U ovoj strukturi dolazi do topotropske promjene, kada na mjesto Fe dodje Co i kada jedan As zamjeni jedan S; promjene su te zahvatile tek neznatno dužine kockinih bridova, one naime iznose  $5,66 \cdot 10^{-8}$  cm. Nezamijenjeni S pomaknuo se malo u smjeru dijago



nale kocke, a As, koji je zamijenio jedan dio S, ne nalazi se na mjestu sumpora, kojega je zamijenio. Na taj je način nestalo u gradji kristala kobaltinova i centrosimetrije; kobaltin se ne kristalizuje kao pirit u pentagonskoj nego u plagiidrijskoj hemiedriji.

Röntgenografska istraživanja, što su obavljena na olivinu  $(MgFe)_2SiO_4$ , pokazala su, u koliko se topotropske promjene zbivaju u tom mineralu, ako u molekuli  $Mg_2SiO_4$  (forsterit) zamijeni željezo jedan dio magnezija, t. j. ako dodje do razvitka izomorfne smjese  $(MgFe)_2SiO_4$  (olivin). Osnovna



Sl. 768.

je gradja  $Mg_2SiO_4$  pravokutni paralelepiped; ako označimo dužinu bridova toga elementarnoga paralelepipeda sa  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , dobit ćemo ove vrijednosti za:

	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$ u $10^{-8}$ cm
Forsterit $Mg_2SiO_4$	4,74	10,19	5,97
Olivin $(MgFe)_2SiO_4$	4,88	10,40	6,10
Fajalit $Fe_2SiO_4$	4,99	10,89	6,31.

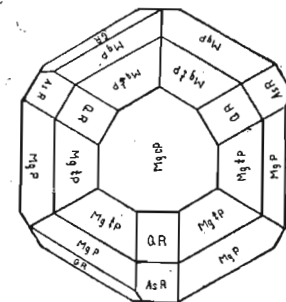
Röntgenografska istraživanja pokazuju dakle, koliko se mijenja gradja kristala ulazom tudje tvari u molekulu minerala.<sup>1)</sup>

**119. Neki se minerali različita kemijskoga sastava kristalizuju u sličnim formama; izotipija minerala.** Ima minerala, koji su tvorno vrlo različiti, a kristalizuju se u sličnim formama; naročito se to tiče onih minerala, koji su jednostavnoga kemijskoga sastava, na pr. elementi, sulfidi, oksidi i t. d. Takve minerale nazvao je *F. Rinne izotipskima*, a samu pojavu *izotipijom*.<sup>2)</sup> Dakako da su minerali teseralnoga sustava uopće izotipski, ali i minerali drugih sustava mogu da budu takovi. Izotipijom se odlikuje na pr. elementarni arsen, magnezij, kremen i grafit, koji se u prkos njihovom različitom kemijskom sastavu, kristalizuju u formama morfološki vrlo bliskima, kako se to razabira iz slike 769. Isto ćemo tako zapaziti izotipiju na pr. kod nikelina NiAs i jodargirita (jodirita) AgJ; nikelin se kristalizuje u hemimorfiji trigonske hemiedrije sa osnim odnosom  $a:c = 1:0,8194$ , a kut (ugao) mu je izmedju  $(0001):(10\bar{1}1) = 43^\circ 25'$ ; jodargirit se kristalizuje u he-

<sup>1)</sup> *F. Rinne*: Das feinbauliche Wesen der Materie nach dem Vorbilde der Kristalle. 2. und 3. Auflage, pag. 97.

<sup>2)</sup> *F. Rinne*: Das feinbauliche Wesen der Materie etc., pag. 99.

mimorfiji heksagonske holoedrije sa osnim odnosom  $a:c = 1:0,81960$ , a kut mu je izmedju  $(0001):(10\bar{1}1) = 43^\circ 25' 20''$ . Led  $H_2O$  se kristalizuje romboedrijski sa osnim odnosom  $a:c = 1:1,4026$ , a kut mu je izmedju  $(0001):(10\bar{1}1) = 58^\circ 18\frac{1}{2}'$ ; iridosmij kristalizuje se isto tako kao i led, pa mu je osni



ZnO, koji se kristalizuje heksagonski u hemimorfiji, i tridimit SiO<sub>2</sub>, koji se kristalizuje heksagonski; cinkit se razvio u formama sa osnim odnosom  $a:c = 1:1,6077$  i sa kutom između (0001):(10 $\bar{1}$ 1) = 61° 41 $\frac{1}{2}$ ', tridimit u formama sa osnim odnosom  $a:c = 1:1,65304$  i sa kutom (0001):(10 $\bar{1}$ 1) = 62° 21'.

Dakako da je i izotipija odražaj unutrašnje gradje, pa će i izotipski minerali biti ojednake strukture, što se moglo odrediti kod nekih minerala röntgenografskim istraživanjem. Tako su na pr. u nekim elementima i jednostavnim spojevima zauzeli atomi tetraedrijski položaj, kako je to prikazano šematskim slikama za bakar Cu, dijament C, sfalerit ZnS, kamenu so NaCl i pirit FeS<sub>2</sub> (sl. 770.); tetraedrijski položaj zauzeli su takodjer i atomi kalcita (sl. 770.), čiji se elementarni romboedar može shvatiti kao deformirani heksaedar kamene soli (sl. 771.).

**120. Amorfni minerali sastavljeni su često od smjese različitih tvari, koje ne stoje medju sobom ni u stalnim višestrukim omjerima niti su jedne u drugima otopljene. Koloidni minerali.** Osim kemijski čistih tvari i čvrstih otopina (izomorfnih smjesa), ima medju mineralima i takovih, koji su sastavljeni od smjese različitih (heterogenih) tvari, pa uprkos tome, što te tvari nisu medju sobom vezane po stalnim višestrukim omjerima, niti su jedne u drugima otopljene, pokazuju se one kao homogena tijela i onda, kad ih posmatramo pod mikroskopom. Različite tvari, što su se medju sobom izmiješale u jedno tijelo, koje se i pod mikroskopom pokazuje homogenim, stvaraju molekularne smjese, koje se ne mogu više mehaničkim načinom jedna od druge odijeliti; ako želimo u takvim molekularnim smjesama odijeliti jednu tvar od druge, možemo to obaviti samo kemijskim načinom. Takve molekularne smjese nalazimo medju amorfnim mineralima, koji su se razvili iz koloidnih otopina iz t. zv. hidrosola.

Koloidne otopine ili soli takove su otopine, gdje se u nekoj tekućini (u t. zv. disperznom sredstvu) nalazi neka tvar (t. zv. disperzna faza) razdijeljena u neobično sićušnim, submikroskopskim česticama, koje ni običnim mikroskopom ne možemo u otopini zapaziti. Tekućina ili disperzno sredstvo, u kom se nalaze submikroskopske čestice (disperzna faza), može biti različito; ako je disperzno sredstvo voda, zovemo koloidne otopine ili sole hidrosolima, ako je disperzno sredstvo alkohol, glicerin, benzol i t. d. zovemo sole ili koloidne otopine alkosolima, glicerosolima, benzosolima i t. d. Onakovi soli ili koloidne otopine, gdje je disperzno sredstvo organske prirode, poznati su pod imenom organosola.

Koloidne otopine sastavljene su dakle od najmanje dvije komponente: jedna je komponenta tekućina, a druga je komponenta u toj tekućini razdijeljena kao sićušne čestice, koje mogu biti čvrste ili tekuće. Prema tome su koloidne otopine ili soli heterogene otopine od više faza: jedna je faza rastavljena u sićušne čestice, zbog čega dodiruje sa silno razvatom povr-

šinom drugu fazu (tekućinu). Razdioba je faza jednolična tako, da se soli pri slobodnom posmatranju prikazuju kao potpuno homogeni.

Heterogene koloidne tvorevine, sole, ili disperzne heterogene sisteme uopće, nazvali su ruski kemik P. P. Weimarn i njemački kemik Wo. Ostwald *disperzoidima*. Tekućinu, dakle onu fazu, čije su čestice u međusobnom dodiru, zovemo *disperznim* sredstvom, dok onu fazu, čije su čestice međusobno odijeljene, zovemo *disperznom fazom*.

Što su disperzne čestice sitnije, to je stupanj disperziteta otopine veći; kod koloida koleba veličina disperznih čestica između 0,1 $\mu$  i 1 $\mu\mu$ .<sup>1)</sup> Ako su čestice manje od 1 $\mu\mu$ , prelazi koloidna otopina u pravu, *kristaloidnu otopinu* u kojoj se nalaze čestice razdijeljene kao molekule i kao ijonti; budu li čestice veće od 0,1 $\mu$ , prelazi koloidna otopina u prave mehaničke, krupne disperzione. Prema tome su soli medjučlanovi između pravih, kristaloidnih otopina i mehaničkih, krupnih disperziona tako, da čine kontinuirane prelaze i u prave otopine i u krupne disperzione.

Od pravih, kristaloidnih otopina razlikuju se soli i po nekim svojim optičkim pojavama. Mnogi su hidrosoli, kad ih slobodno posmatramo, posve bistri, homogeni, a mnogi opet heterogeni, pa se vide mutni odlikujući se znatnom fluorescencijom i opalescencijom, ili t. zv. *Tyndall-ovim fenomenom* i to onda, kad pustimo da zraci svijetla prolaze kroz koloidnu otopinu; pri tom će doći do ogiba i refleksije svijetla; svijetlo će se difuzno raspršiti i polarizovati; naročito će se reflektirati zraci malih valovnih dužina (modri zraci), pa će doći tako do fluorescencije i opalescencije.

Na tom Tyndall-ovom fenomenu osnovana je ultramikroskopija, koja služi kod proučavanja koloidnih otopina. Pomoću ultramikroskopa vide se disperzne čestice kao osvijetljene tačkice na tamnom vidnom polju, koje izvode t. zv. *Brown-ovo gibanje*. Čestice naime disperzne faze, nalazeći se u tekućini, izvode osobita neka titranja i gibanja „kao da plešu, skakuću i poskakuju“; to gibanje nazvano je po engleskom botaniku *Brown-u* (1827.) koji ga je prvi zapazio, Brown-ovo gibanje. Osobito jako titraju, baš kao da vriju, čestice neznatnih dimenzija; čim dosegnu izvjesnu veličinu, na pr. veličinu od 3 $\mu$  do 5 $\mu$ , gibanje prestaje.

Na Tyndall-ovom fenomenu osnovano je i alohromatsko obojenje nekih minerala, u kojima se nalaze silno razrijedjene koloidne otopine. Tako je na pr. kamena so modro obojena od metala natrija, koji je u njoj razdijeljen u formi sitnih koloidnih čestica. Isto tako potiče modra boja minerala sodalitne grupe (sodalita, nozeana, hajjina i lazulita) od koloidnoga sumpora.

Zbog srazmjerno znatne veličine disperznih čestica koloidne su otopine vrlo slabe difuzije i vrlo slaba osmotskoga tlaka, dok su prave, kristaloidne otopine i velike difuzije i velika osmotskoga tlaka. Tako će na pr. membrana od pergamentnoga papira propustiti i disperzno sredstvo i u njemu otopljene

<sup>1)</sup> 1 $\mu$  (mikron) = 0,001 mm; 1 $\mu\mu$  (milimikron) = 0,000001 mm, milionti dio mm.

elektrolite (kristaloide), a ne će nikako moći da kroz svoje pore propusti koloidne (disperzne) čestice. Na taj način dadu se odijeliti čestice raznoga stupnja disperziteta; takvo odjeljivanje nazvao je (1861.) *Graham dijalizom*.

Disperzne čestice, koje se nalaze razdijeljene u disperznom sredstvu, nabite su ili pozitivnom ili negativnom elektricitetom. Hidrosoli nekih metalnih oksida, na pr. željeznog oksida, kadmijskog oksida, aluminijskog oksida, kromovog oksida, titanovog oksida, cirkonovog oksida, cerovog oksida, imaju pozitivan električni naboj; isto tako pozitivan naboj imaju metalni hidroksidi. Negativno električni jesu hidrosoli svih metala (na pr. zlata, srebra, platine), metalnih sulfida (na pr. arsenik sulfid, antimonski sulfid, bakarni sulfid, olovni sulfid, kadmijski sulfid), kremične i kositerne kiseline.

Pomenute vrste električnoga naboja za navedene spojeve i elemente vrijede samo, dok su oni hidrosoli, dakle dok je disperzno sredstvo voda, budući da o vrsti disperznoga sredstva zavisi vrsta električnoga naboja. Kad bi disperzno sredstvo bilo na pr. terpentin, imali bi pomenuti spojevi i elementi protivnu vrstu naboja.

Vrstu električnoga naboja disperznih čestica možemo saznati, ako pustimo električnu struju da prolazi kroz koloidnu otopinu; u tom slučaju doći će do izvjesnoga gibanja disperzne faze i to tako, da će pozitivno nabite čestice putovati ka katodi, negativno nabite k anodi: to gibanje zovemo *kataforezom*.<sup>1)</sup>

Koloidne otopine ili sole dijelimo u dvije grupe: u *suspensione koloide* ili *suspenszoida* i u *emulzione koloide* ili *emulzoida*. Suspenszoidi su onakve koloidne otopine, čija je disperzna faza čvrsta, a emulzoidi, čija je disperzna faza tekuća. Kod suspenszoida, čiji su glavni zastupnici metalni hidroksidi, unutrašnje se trenje (viskozitet) kod razrijedjenih otopina tek neznatno razlikuje od unutrašnjega trenja čistoga disperznoga sredstva; kod emulzoida, čiji je zastupnik na pr. otopina želatine, predpostavljamo, da je unutrašnje trenje (viskozitet) i u razrijedjenim otopinama znatno jače od trenja čistoga disperznoga sredstva, te da je jako zavisno o temperaturi tako, da je gibanje uz padanje temperature sve slabije. Osobina je još suspenszoida, da se uz neznatan dodatak koje soli, osobito ako je to so viševalentnih kationa, (metalnih iona), koaguluju (zgrušaju), dok se kod emulzoida vrši koagulacija (grušanje) tek uz vrlo veliki dodatak neke soli. Zbog toga velimo, da su suspenszoidi *hidrofobni*<sup>2)</sup> ili *liofobni*<sup>3)</sup> soli, a emulzoidi *hidrofilni*<sup>4)</sup> ili *liofilni soli*. *Zsigmondy* drži, da se kod hidrofilnih koloida nalazi oko disperznih čestica veći i teško probojni sloj vode i zbog toga njihova veća postojanost.

<sup>1)</sup> Od grč. *kataphórein*, dovesti.

<sup>2)</sup> Od grč. *hydor*, voda i *phóbos*, strah.

<sup>3)</sup> Od grč. *lyein*, otapati.

<sup>4)</sup> Od grč. *philos*, ljubav.

Kada se koloidne otopine ili soli koaguluju, postaju od njih *geli*; geli su vrlo viskozni, često puta hladetinasti (pačasti, piktijasti, galertasti), pahu-ljasti ili praškasti agregati, koji se znadu okupiti i u vrlo čvrste tvorevine. Do koagulacije sola, dakle do razvitka gela može da dodje kadikad i spontano, ili onda kada disperzno sredstvo uz povišenje temperature ishlapi, ili kada koloidnoj otopini dodamo koji elektrolit; tako se na pr. koloidna otopina kremične kiseline, koje ima u morskoj vodi, koaguluje prelazeći u gel djelovanjem elektrolita, kojih ima takodjer u morskoj vodi; na taj način postaju u taložinama morskim ulošci kremenca kresivca, kakove često nalazimo na pr. u krečnjacima na ostrvu Šolti, pa u miocenskim krečnjacima okolice zagrebačke. Još mogu postati geli, kad se sastanu dva različito električki nabita sola; u tom slučaju koaguluju se oba sola neutralizujući svoje disperzne čestice, te se okupljaju u jednu tvorevinu kao mješavina različitih koagulacionih produkata, različitih gela, kao što je na pr. glina izmiješana sa koloidnom kremičnom kiselinom i koloidnim aluminijskim hidroksidom.

Djelovanjem elektrolita na koloidne otopine, kazali smo, da dolazi do razvitka gela; no takav razvitak mogu da zapriječe male količine liofilnih sola, pa zato takve liofilne sole zovemo *zaštitnim koloidima*. Pojava se ta tumači tako, kao da su liofobne čestice omotane zaštitnim koloidom.

Ako se geli nalaze u suvišku disperznoga sredstva, mogu neki od njih da to sredstvo u se upiju (imbibiraju), pa uslijed te imbibicije nabubre i onda opet prijedju u sole; takve gele zovemo *reverzibilnima*.<sup>1)</sup> Neki geli ne mogu da imbibiraju disperzno sredstvo pa ne mogu prijeći ponovice u sole; takve zovemo *ireverzibilnim gelima*. Ali ako ireverzibilnim gelima dodamo neznatnu količinu koje kemijske reagencije, prijeći će u sole; taj proces zovemo *peptizacijom*. Tako će se na pr. gel arsenikoga sulfida a i drugih sulfida djelovanjem sumpornoga vodika peptizirati, t. j. prijeći u sol; djelovanjem željeznoga klorida na gel željeznoga oksida, ili djelovanjem sone kiseline na gel aluminijskoga oksida prelaze oba pomenuta gela u sole.

U optičkom i geometrijskom pogledu geli su amorfne tvorevine: u optičkom pogledu pokazuju potpunu anizotropiju, a u geometrijskom pogledu nemaju svoje forme; nepravilni su. Po kristalizacionoj teoriji ruskoga kemika *P. P. Weimarna*, koji smatra, da je jedino moguće stanje materije *kristalizaciono stanje*, disperzne su čestice koloidnih otopina, dakle i čestice gela, kristalizovane. Svoju teoriju on ovako obrazlaže:

Za stvaranje taloga odabrane su otopine razne koncentracije. Za vrijeme obavljanja pokusa pokazalo se, da izvjesne koncentracije otopina daju taloge, koji su krupno kristalasti. Ako su te otopine jače ili slabije koncentracije, daju taloge, koji su tako sitno kristalasti, da se kristalasto stanje jedva i mikroskopom zamjećuje, a uz izvjesnu koncentraciju otopine stvaraju se

<sup>1)</sup> Od lat. *revérti*, povratiti.

talozi, čiju kristalastost ne može ni mikroskop da otkrije. Kod neke dakle koncentracije otopine stvaraju se jasno kristalasti talozi, a kod neke druge koncentracije postaju kristalići sve sitniji i sitniji te u nekom slučaju budu tako sitni, da ih ni mikroskop ne može prepoznati kao kristalaste. *Weimarn* kaže: „Мои изслѣдованія съ ясностью показали, что никакой границы между мірами кристаллоидовъ и коллоидовъ въ дѣйствительности не существуетъ, и перевести любое кристаллическое вещество въ коллоидно-аморфныя образования не представляетъ никакихъ трудностей; мало того, переходъ этотъ совершается съ чрезвычайной постепенностью, такъ что мнѣ удалось прослѣдить всѣ промежуточныя стадіи этого перехода — отъ крупныхъ полногранныхъ кристалловъ до типичнаго прозрачнаго студня“.<sup>1)</sup>

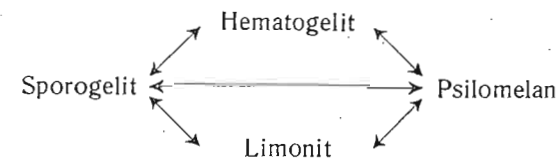
*Weimarn* je logično zaključivao, kad je isticao postepeno smanjivanje kristala pri stvaranju taloga; zaključak je morao već i radi toga biti logičan, kad znamo, da soli prelaze kontinuirano s jedne strane u prave, krupne suspenzije, a s druge strane u prave (elektrolitne) otopine sa molekularnim česticama i ionima. Medjutim su kasnije (1918.) röntgenoskopska istraživanja *Debye-a* i *Scherrer-a* doista pokazala, da su disperzne čestice koloidnih metalnih otopina agregati sićušnih kristalića.<sup>2)</sup>

Geli imaju osobinu, da pri svome razvitku, prelazeći iz hidrosola u čvrsto stanje, prime u svoj sastav najrazličitije tvari, koje su se nalazile u otopini, u kojoj su bile i čestice gela; te tvari mogu biti u otopini ili otopljene ili kao čvrste čestice ili kao plin, pa ako medju njima vlada molekularna privlačivost, vežu se one i medjusobno i sa gelom u jedno tijelo. Molekularnu privlačivost, što vlada medju pojedinim tvarima u koloidnoj otopini, zovemo *adsorpcijom* ili samo *sorpcijom*, pa zato shvaćamo i gele, koji su sastavljeni od vrlo različitih tvari, *adsorpcionim spojevima*, a ne spojevima po stalnim i višestrukim omjerima. U adsorpcionim spojevima nisu različite tvari jedna u drugoj otopljene, kao što je to u čvrstim otopinama, u izomornim smjesama, već su medju sobom molekularno vezane djelovanjem adsorpcije; njihov je kemijski sastav posve nestalan, jako koleba, pa ih je nemoguće prikazati stalnom kemijskom formulom. Kako u njima ipak prevladava jedan sastavak, običavamo samo tome sastavku dati formulu, koja odgovara formuli kemijski čiste tvari. Boksiti (i terra rossa) na pr. našega krša tipski su geli, tipski adsorpcioni spojevi, u kojima prevladava kao glavni sastavak sporogelit, aluminijski hidroksid  $Al_2O_3 \cdot xH_2O$ ; taj hidroksid primio je tokom svoga razvitka u sebe još koloidnu kremičnu kiselinu  $SiO_2 \cdot xH_2O$ , koloidni željezni hidroksid  $Fe_2O_3 \cdot xH_2O$ , koloidni željezni oksid  $Fe_2O_3$ , vodu  $H_2O$  i još neke tvari; stalne kemijske formule ne može boksit nikako dobiti,

<sup>1)</sup> П. П. фонъ Веймарнъ: Къ ученію о состояніяхъ матеріи. С.-Петербургъ 1910. pag. 7.

<sup>2)</sup> Nachr. d. Gött. Gesellschaft d. Wiss. 1918. pag. 98.

er svi njegovi sastavci sa jednoga te istoga nalazišta jako kolebaju; ipak ga označujemo formulom  $Al_2O_3 \cdot xH_2O$ , pošto taj sastavak dolazi u boksitima, kao mineral sporogelit, u najvećoj količini. Kako adsorpcioni spojevi predstavljaju smjese tvari u različitim omjerima, događa se kadikad, da jedan mineralni gel postepeno prelazi u drugi mineralni gel. U našem kršu na pr. možemo lijepo motriti takove prelaze: Terra rossa ili boksit sastavljeni su, kako je rečeno u glavnom od sporogelita  $Al_2O_3 \cdot xH_2O$ . Po svom sastavu morao bi sporogelit biti bijel; ali kako je redovito adsorbovao neku količinu koloidnoga željeznoga oksida i hidroksida, dobio je od njih crvenu boju. U nekim sporogelitima prevladava koloidni željezni oksid  $Fe_2O_3$ , pa tako dolazi mjestimice do prelaza sporogelita u t. zv. hematogelit, u kome je željezni oksid  $Fe_2O_3$  glavna tvar. Takvih hematogelita, koji su koloidna modifikacija kristaloida hematita, možemo naći u našem kršu, gdje se pojavljuje u formi sitnih bobulja (oolita) i konkrecija u društvu sa terra rossom, na pr. kod Koludarskoga kraj Rijeke u Hrvatskom Primorju. Tamo, gdje u sporogelitu ima sve više koloidnoga željeznoga hidroksida  $Fe_2O_3 \cdot xH_2O$ , dolazi do prelaza u limonit, koji se takodjer pojavljuje mjestimice sa terra rossom (ili sa boksitima) u formi konkrecija, na pr. u boksitima kod Posušja u Hercegovini, ili u formi sitnih oolita, na pr. kod Pinturića kraj Rijeke u Hrvatskom Primorju. Kako je sporogelit adsorbovao i neku količinu manganskoga hidroksida, ima prelaza od sporogelita u psilomelan, na pr. u boksitima kod Mazina u Lici, kod Bukovice na Duvanjskom Polju u Hercegovini i kod Čabra u Gorskom Kotaru (tu su se psilomelani razvili kao ooliti). Te prelaze mogli bismo prikazati šematski ovako:



Naši boksiti i terra rossa imaju u sebi stalno adsorbovanoga litija i kalija. Isto ćemo tako u zemlji ornici, pa u glini naći adsorbovanoga kalija, u limonitu fosfora i vanadija, u manganskim hidratima nikla i kobalta, u psilomelanu barija, litija i bakra, u tirkizu bakra. Često je puta nadjena i platina u nekim sedimentima, koji imaju jaku adsorpcionu moć, na pr. u pennsylvanskim glinenim ležištima, pa u željezovitim i glinenim tvarima u Broken-Hill-u u Australiji. Nadjena je platina i u nekim meksikanskim limonitima, gdje je jamačno došla adsorpcijom. Adsorbovanoga zlata nadjeno je u nekim sideritima u Eisenbergu kod Zorbacha, u limonitima brazilskim i t. d.

Vrlo rado adsorbuju geli neke boje. Stavimo li na pr. gel kremične kiseline u boju od fuksina, upit će koloidna kremična kiselina izvjesnu količinu

fuksina, koji se ne da više nikako ispiranjem ukloniti iz kiseline. Na toj je osobini osnovano i vještačko bojadisanje nekih ahata. Dijelovi ahata, koji su koloidni, adsorbuju boju, a kristaloidni dijelovi spram boje su indiferentni. Jednako će koloidna kremična kiselina adsorbovati i druge bazične boje, na pr. malahitno zelenilo i metilsku ljubičastu boju, dok kisele boje slabo adsorbuje.

Zanimljive su i difuzne pojave otopljenih kristaloida u gelima. Ako se u gelu nalazi neka tvar, koja sa kristaloidom može da stvara teško topljive spojeve, difundirati će kristaloid u gel i spajati će se s onom tvari, ali ne jednolično nego ritmički, isprekidano tako, da će se u gelu nalaziti tanji ili deblji slojevi taloga od oborena kristaloida, kako leže između dijelova čistoga gela. Posljedica će toga biti, da će se gel pokazati sa zonama, koje su slobodne od taloga i sa zonama, u kojima se nalazi talog. Na taj način tumači R. E. Liesegang postanak ahata, koji su sastavljeni od razno obojenih zona. Te su obojene zone postale difuzijom željeznih spojeva u koloidnu kremičnu kiselinu, gdje su se ritmički oborili kao željezni hidroksid i željezni oksid. Takvu difuziju kristaloida i njihovo ritmičko obaranje možemo na vještački način postići: Uzmemo 100 gr 4% -tne otopine želatine i dodamo joj 2 ccm koncentrovane otopine  $K_2Cr_2O_7$ . Ako sada dodamo takvoj kromnoj želatini kapljicu srebrna nitrata, obarat će se oko kapljice koncentrični prstenovi srebrna kromata. Ako je više difuznih centara, razvijaju se uz prstenaste zone i zone hiperbolične.

Prilike, u kojima se razvijaju geli iz koloidnih otopina, većinom su takve, da su oni adsorpcioni spojevi koloidnih i kristalastih tvari te prema tome predstavljaju spojeve, koji nisu kemijski homogeni nego heterogeni. Ipak ima slučajeva, gdje geli mogu biti kadikad i kemijski homogeni tako, da su kemijski čista tvar, stalnog kemijskog sastava, koji se da prikazati stalnom kemijskom formulom.

S obzirom na kristalizovane minerale geli su nepostojani: nakon kraćeg ili dužeg vremena prelaze oni u kristalastu fazu, disperzne njihove čestice postaju veće. Sa gledišta Weimarnove kristalizacione teorije to bi značilo, da su disperzne čestice, koje su uopće kristalizovane, tokom vremena primile samo veće dimenzije, na kojima možemo tačno odrediti optičku anizotropiju, dakle kristalizovano stanje. Tu pojavu možemo često put motriti kod opala, koji je gel kremične kiseline  $SiO_2 \cdot xH_2O$ . U serpentinima, na pr., što su se razvili kod Alšara u južnoj Srbiji, nalazimo dosta opala; kad ga posmatramo pod mikroskopom, vidimo, kako je ta koloidna modifikacija kremične kiseline prešla u kristalast agregat. Takvih slučajeva ima među koloidnim mineralima jako mnogo.

Neke mineralne tvari znadu se pojaviti u prirodi u koloidnom i kristaloidnom stanju, kako se to razabira iz ovo nekoliko primjera:

## Koloidi:

Opal  
Kaolin  
Limonit  
Sporogelit  
Hematogelit  
Melnikovit  
Hrizokola

## Kristaloidi:

Kalcedon, kremen  $SiO_2$   
Kaolinit  $H_2Al_2Si_2O_8 \cdot H_2O$   
Getit  $Fe_2O_3 \cdot H_2O$   
Dijaspore  $Al_2O_3 \cdot H_2O$   
Hematit  $Fe_2O_3$   
Pirit  $FeS_2$   
Dijoptas  $H_2CuSiO_4 \cdot H_2O$ .

Ako se osvrnemo na agregatno stanje disperznih čestica (disperzne faze) i disperznoga sredstva, to ćemo među mineralima naći ovih osam mogućih kombinacija:

1. Čvrsta disperzna faza u čvrstom disperznom sredstvu; amo bismo mogli ubrojiti fine disperzne pigmente, od kojih potiču boje alohromatskih minerala.
2. Tekuća disperzna faza u čvrstom disperznom sredstvu; amo spadaju sićušni uklopki tekućine, što se nalaze u nekim magmatskim mineralima.
3. Plinovita disperzna faza u čvrstom disperznom sredstvu; amo spadaju uklopki plina u nekim magmatskim mineralima.
4. Čvrsta disperzna faza u tekućem disperznom sredstvu; amo spadaju koloidne mineralne otopine.
5. Tekuća disperzna faza u tekućem disperznom sredstvu; amo spadaju prirodna stakla, na pr. opsidijan.
6. Plinovita disperzna faza u tekućem disperznom sredstvu; na pr. plovučac (vrsta vulkanskoga stakla).
7. Čvrsta disperzna faza u plinovitom disperznom sredstvu; na pr. dim ili plinoviti disperzoidi kod vulkanskih ekshalacija, ognjeni oblaci (nuées ardentes kod erupcije Pelée-a).
8. Tekuća disperzna faza u plinovitom disperznom sredstvu; na pr. magla i disperzoidi u vulkanskim ekshalacijama.

Medju mineralnim koloidima najraširenija je četvrta kombinacija: čvrsta disperzna faza u tekućem disperznom sredstvu tako, da mineralni koloidi dolaze u dvije forme: u tekućoj formi kao soli i u čvrstoj formi kao geli. Mineralni su soli od najveće važnosti pri postajanju minerala. Razvijaju se većinom kod atmosferskoga trošenja minerala.<sup>1)</sup>

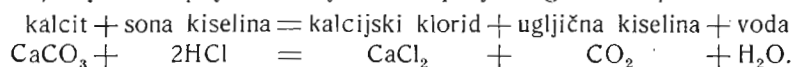
**121. Minerali su u različitim topilima različite topljivosti.** Djelovanjem nekih topila, na pr. djelovanjem vode, sone, dušične, sumporne, fluorovodične kiseline i t. d. možemo mnogi mineral otopiti. Topljivost minerala zavisna je o njegovom kemijskom sastavu, pa kako su minerali

<sup>1)</sup> H. E. Boeke und W. Eitel: Grundlagen der physikalisch-chemischen Petrographie, pag. 413. — V. Pöschl: Einführung in die Kolloidchemie. Dresden. 1910. — Wo. Ostwald: Grundriss der Kolloidchemie. Dresden. 1910.

različita kemijskoga sastava, tako su i različite topljivosti. U vodi su neki minerali, na pr. kizerit  $MgSO_4 \cdot H_2O$ , kamena so  $NaCl$ , silvin  $KCl$  i t. d. vrlo lako topljivi, a neki se otapaju vrlo teško, na pr. gips  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ , kalcit  $CaCO_3$ , barit  $BaSO_4$  i t. d., dok su neki, na pr. samородni metali, sumpor, dijamant, neki sulfidi, oksidi, silikati i t. d. uz obične prilike, koje su čovjeku dostižne, netopljivi. Ipak sudeći po nekim pojavama, na pr. po načinu postajanja, nema nijednoga minerala, koji ne bi bio u vodi topljiv; samo je ta topljivost zavisna o takvim prilikama (na pr. o dugotrajnom geološkom vremenu), do kojih mi pri našim pokusima ne možemo nikako doći.

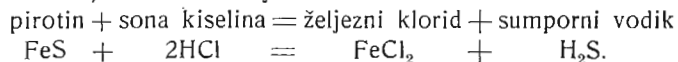
Ako istražujemo kemijski karakter vodene otopine minerala, naći ćemo da ona kod nekih minerala reaguje alkalijski, kod nekih kiselu. Alkalijsku reakciju daju vodene otopine sfalerita, galenita, antimonita, halkopirita, kasiterita, rutila, hematita, vapnenca, aragonita, dolomita, zeoliti, glinenci, olivin, serpentin i t. d. Kiselu reakciju daje markazit.

Daleko jače topilo od vode jest sonda kiselina  $HCl$ . Mnoge minerale može ona potpuno da otopi, neke otapa tek djelomice, a neki se ni u njoj ne otapaju. Karbonati se primjerice u sonoj kiselini otapaju vrlo lako prelazeći u kloride; pri tom se procesu čuje šum, što potiče od ugljične kiseline, koja se iz spoja oslobadja. To otapanje mogli bismo prikazati ovako:



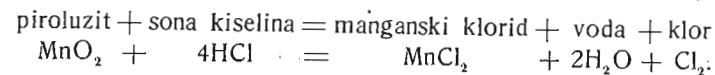
Dakako da se svi karbonati ne otapaju jednako: neki se otapaju vrlo lako već u hladnoj sonoj kiselini, na pr. kalcit  $CaCO_3$ , a neki tek u vrućoj kiselini, na pr. magnezit  $MgCO_3$ .

Sulfidi su u sonoj kiselini dosta otporni, pa tek neke može ona potpuno da otopi; takav je sulfid na pr. pirotin  $FeS$ . Pri tom otapanju prelazi sulfid u klorid, razvija se sumporni vodik, koji se prepoznaje već po neprijatnu zadahu; evo te reakcije:

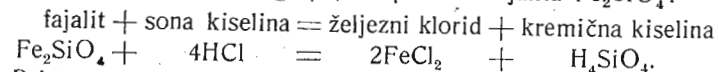


Pri otapanju pirotina u sonoj kiselini izlučuje se još nešto malo elementarnoga sumpora zbog toga, što se u pirotinu nalazi mala količina sumpora, koga je pirotin primio u svoj sastav kao čvrstu otopinu; zato se pirotin i udaljuje malo od formule  $FeS$ , koja koleba prema računima i podacima kemijske analize između  $Fe_3S_8$  i  $Fe_{16}S_{17}$ , ili općenito  $Fe_nS_{n+1}$ .

Dosta su otporni spram sone kiseline i oksidi i hidroksidi; no ima ih nekoliko, koji se ipak vrlo lako otapaju; takvi su na pr. manganski oksidi i hidroksidi (piroluzit  $MnO_2$ , manganit  $Mn_2O_3 \cdot H_2O$  i t. d.). Pri tom otapanju prelaze manganski oksidi i hidroksidi u kloride, a ujedno se oslobadja znatna količina klora, koji se osjeća kao jako zadušljiv plin. Ta reakcija teče ovako:

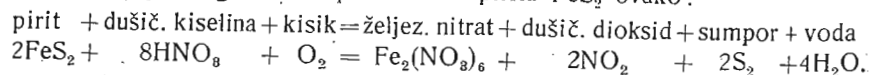


I među silikatima, koji su inače spram nekih kiselina jako otporni, ima ih, koje sonda kiselina vrlo lako otapa, ali ih ima i takovih, koje uopće ne može otopiti ili ih tek djelomice otapa. Obično je topljivost silikatnih minerala u sonoj kiselini to veća, što je u mineralu više željeza. Proces otapanja silikata u sonoj kiselini mogli bismo motriti kod kojega člana izomorfna niza olivinske grupe, na pr. kod fajalita  $Fe_2SiO_4$ :



Pri tom se otapanju stvorio željezni klorid a izlučila se kremična kiselina kao koloid, gel, u formi hladetinate mase.

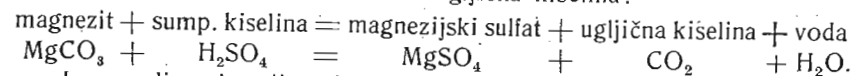
Dušična (azotna) kiselina  $HNO_3$  kao topilo ima osobitu moć otapanja među metalnim sulfidima; mnogi sulfidi, koji su u sonoj kiselini netopljivi, otapaju se vrlo lako u dušičnoj kiselini prelazeći u nitrate; pri toj se reakciji izlučuje sumpor i razvijaju crveno smeđe pare dušičnoga dioksida  $NO_2$ . Otapanje je to više puta tako burno, da se razvija znatan šum. Tok toga otapanja mogli bismo pokazati na piritu  $FeS_2$  ovako:



Ako pridodamo dušičnoj kiselini sone kiseline (na pr. u omjeru  $1HNO_3 : 3HCl$ ), pojačat će se njezina moć otapanja, pa ćemo moći otopiti i onakve minerale, koje ne bismo mogli otopiti samo u dušičnoj ili samo u sonoj kiselini. Zlato  $Au$  je u dušičnoj kiselini netopljivo, a nije topljivo ni u sonoj kiselini; ali ako te dvije kiseline izmiješamo u pomeutom omjeru, zlato će se u toj smjesi kiseline otopiti vrlo lako; zato tu smjesu dušične i sone kiseline zovemo zlatotopkom (ili kraljevskom vodicom).

Spram silikata je dušična kiselina znatno slabije topilo od sone kiseline, dok karbonate otapa vrlo lako, pretvarajući ih u nitrate.

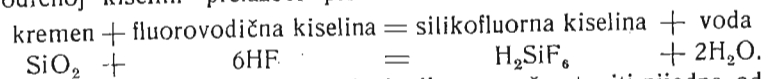
Poput sone i dušične kiseline može i sumporna kiselina  $H_2SO_4$  da otopi minerale, neke potpuno, neke djelomice, a spram nekih je i ona posve nemoćna, pa ih ne otapa. Pri tom otapanju stvaraju se sulfati. Kada otapamo u sumpornoj kiselini, na pr. magnezit  $MgCO_3$ , prijeći će on u magnezijev sulfat, a oslobodit će se ugljična kiselina:



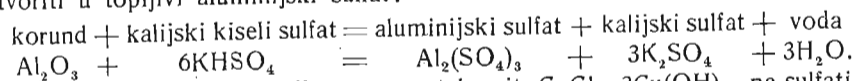
Ima među mineralima i takovih, koji nisu topljivi ni u sonoj, ni u dušičnoj, ni u sumpornoj kiselini<sup>1)</sup>. Kad treba takve minerale pretvoriti

<sup>1)</sup> Te tri kiseline zovemo običnim ili mineralnim kiselinama zbog toga, što su najobičniji reagensi među kiselinama za otapanje minerala.

u tekućinu, upotrebljavamo fluorovodičnu kiselinu HF, koja može otopiti neke od onih minerala, koji su u običnim ili mineralnim kiselinama netopljivi. Takav je mineral na pr. kremen  $\text{SiO}_2$ , koji se potpuno otapa u fluorovodičnoj kiselini prelazeći pri tom u silikofluornu kiselinu  $\text{H}_2\text{SiF}_6$ :



Neki su minerali tako otporni, da ih ne može otopiti nijedna od pomenutih kiselina. Ako ih želimo dobiti u otopljenju stanju, moramo ih prije taliti sa nekom soli, na pr. sa natrijskim karbonatom  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , kalijevim karbonatom  $\text{K}_2\text{CO}_3$ , kalijevim hidratom KOH ili kalijevim kiselim sulfatom  $\text{KHSO}_4$ ; rastaljenu tvar, koju na taj način dobijemo, možemo lako otopiti ili u vodi ili u sonoj kiselini. Korund  $\text{Al}_2\text{O}_3$  na pr. nije topljiv ni u jednoj kiselini, zato ćemo ga taliti sa kalijevim kiselim sulfatom i onda lako pretvoriti u topljivi aluminijski sulfat:



Neki bakarni minerali, na pr. atakamit  $\text{CuCl}_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$ , pa sulfati, karbonati, arsenati, fosfati bakra otapaju se u amonijaku bojadisući otopinu krasnom modrom bojom.

### Odredjivanje minerala puhaljkom (duvaljkom).

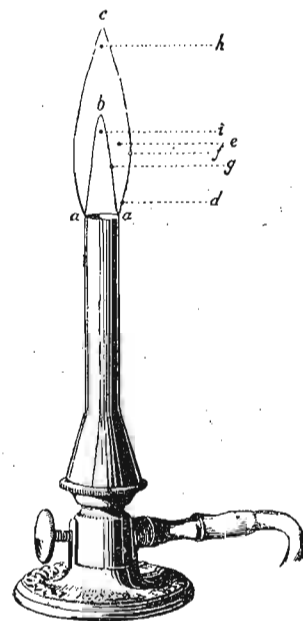
122. Minerale možemo upoznati na nekoliko načina. Minerale možemo upoznati na taj način, da im odredimo kristalografska svojstva (geometrijsko ili kristalografsko istraživanje minerala). U tu svrhu valja imati mineral, koji se razvio u jasnim kristalima sa ravnim i glatkim plohami. Ako se mineral nije razvio u jasnim kristalima, možemo ga upoznati tako, da mu odredimo neka fizička, naročito optička, svojstva (optičko istraživanje minerala). Za optičko istraživanje moramo imati optičke sprave, u prvom redu polarizacioni mikroskop. Treći je način upoznavanja minerala kemijskim putem (kemijsko istraživanje minerala). Na kemijski način možemo upoznati mineral tako, da istražimo, od kojih je kemijskih elemenata sastavljen; to je kvalitativno kemijsko istraživanje. Pri kemijskom istraživanju možemo odrediti i koliko svakoga elementa ima u mineralu; to je kvantitativno kemijsko istraživanje. Ako nas zanima tek vrsta minerala bez obzira na količinu njegove tvari, poslužiti ćemo se kvalitativnom kemijskom analizom.

Način kvalitativnoga istraživanja minerala može da bude dvojak. Jedan je način, gdje treba mineral najprije pretvoriti u otopinu, pa pomoću izvjesnih kemijskih reakcija potražiti pojedine njegove sastavke, pojedine elemente; na taj način, velimo, da istražujemo mineral mokrim putem. Za istraživanje minerala mokrim putem valja imati poseban kemijski laboratorij opskrbljen mnogim kemijskim reagencijama, kemijskim priborom i

aparatura. Mnogo je jednostavniji način odredjivanja minerala uz visoku temperaturu, gdje mineral uopće ne pretvaramo u otopinu, nego istražujemo, što se sve sa mineralom događa, kad ga žarimo; na taj način, velimo, da istražujemo mineral suhim putem.

Suhim putem istraživati minerale vrlo je jednostavan posao i uz malo truda može čovjek postići veliku spretnost kod toga istraživanja. Najveća je prednost istraživanja minerala suhim putem u tom, što nije potrebno imati poseban kemijski laboratorij, pa ni znatniju količinu raznovrsnih reagencija, a ni osobitih aparata. Jednostavnost je toga istraživanja takova, da uz mali trošak možemo lako pribaviti najnužnije, što će omogućiti istraživanje minerala. Kako se istraživanje obavlja uz visoku temperaturu pomoću puhaljke (duvaljke), valja znati, kako ćemo doći do te temperature, i šta je to puhaljka.

Visoku temperaturu, potrebitu za naša istraživanja, može dati plamen obične stearinske ili parafinske svijeće ili tamo, gdje ima plina (gasa), plamen Bunsenova plamenika (žiška). U tom plamenu istražujemo mineral. Ako plamen tačno posmatramo (sl. 772.), vidjet ćemo, da je sastavljen od unutarnjega dijela plamena *aba*, gdje vlada dosta niska temperatura tako, da čestice plina ne mogu izgorjeti, i od spoljašnjega *aca*, gdje je temperatura tako visoka, da čestice plina izgaraju miješajući se sa uzduhom. Na dnu pla-



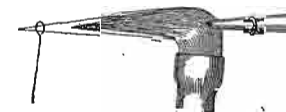
Si. 772.



Si. 773.



Si. 774.



Si. 775.

mena, kod *d*, temperatura je najniža, kod *e* je temperatura najviša, pa kod plamena sa Bunsenovim žiškom iznosi 2300°C; kod *f*, na posve spoljašnjem dijelu, nalazi se oksidacioni dio plamena, koji služi za oksidaciju metala, koji se nalazi otopljen u t. zv. biserkama ili perlama (vidi o tom niže!); kod *g*, na rubu unutarnjega dijela, nalazi se redukcionni plamen, u kom možemo mineralu oduzeti kisik, t. j. možemo mineral reducirati.

Puhaljka (sl. 773.) je obično mesingasta cijev, na donjem dijelu svinuta i završuje uzanim otvorom; na gornjem je kraju šira te kroz taj široki otvor pušemo u plamen, u kom žarimo mineral. Pomoću puhaljke možemo dobiti redukcionni plamen (t. j. onaj plamen, u kom valja mineral reducirati) na taj način, da njezin vršak držimo pred plamenom (sl. 774.) i pušemo, da se plamen savije; oksidacioni plamen, u kom valja mineral oksidirati, dobit ćemo tako, da vršak puhaljke stavimo u plamen (sl. 775.) i pušemo.

Kad mineral istražujemo puhaljkom, valja ga smrviti u vrlo sitan prah i staviti na drveni ugalj, u kom smo izbušili malu jamicu, u koju mećemo prah minerala. Žarenjem praha na ugljenu pojavljuju se neke reakcije, koje su karakteristične za izvjesne elemente, na pr. dim, koji je karakterističan za arsen i antimon; miris, karakterističan za selen, sumpor i arsen; obljep ili tanušna prevlaka nekih oksida (i karbonata), karakterističan za antimon olovo, bizmut i t. d.

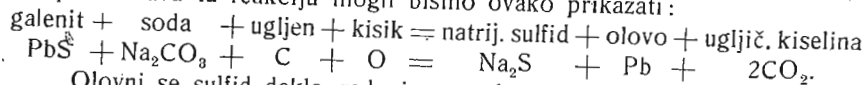
Osim plamena, puhaljke i drvena ugljena, treba imati i staklenih cjevčica, od kojih su jedne ispuhane u maljušnu tikvicu; u takvim tikvicama istražujemo, da li mineral ima vode ili elemenata, koji lako sublimiraju (arsen, živa, sumpor). Dobro je imati i platinenu žicu, pomoću koje istražujemo bojadisanje plamena ili nam ta žica služi za priredjivanje biserki, pa kliješta (pincetu), s kojima držimo mineral u plamenu, kad istražujemo njegovu taljivost (na pr. kod epidota).

Od reagencija najpotrebnija je sona kiselina HCl, dušična (azotna) kiselina HNO<sub>3</sub>, sumporna kiselina H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, soda Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (bez vode), boraks (burača) Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub> (bez vode), fosforna so H(NH<sub>4</sub>)NaPO<sub>4</sub>·4H<sub>2</sub>O, kobaltna solucija Co(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> (kobaltni nitrat otopljen u vodi); potreban je i lakmusov papir za upoznavanje kisele i bazične reakcije.

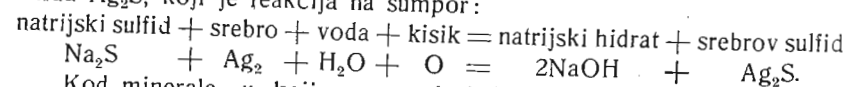
Boraks i fosforna so trebaju za priredjivanje biserki ili perli; na platinenoj žici načini se mala uška, a u nju se stavi malo boraksa ili fosforne soli i to se žari u plamenu pomoću puhaljke, dok se so ne rastali te ohladjena ostane u ušici platinene žice kao čista posve prozirna, bezbojna kuglica — biserka ili perla. Ako ovako priredjenoj biserci dodamo najneznatniju količinu kojega kovinskoga oksida, na pr. manganskoga oksida, taj će se oksid u plamenu pred puhaljkom otopiti u boraksu ili u fosfornoj soli i bojadisat će biserku onom bojom, koja je karakteristična za izvjesne metalne okside (na pr. od mangana biserka je ljubičasta). Ako nemamo platinene žice, možemo napraviti biserku tako, da ugrijani vršak olovke za-

močimo u boraks ili u fosfornu so; so će se prihvatiti vrška, pa možemo opet zaći olovkom i soli u plamen; taj posao ide nešto teže sa fosfornom soli, jer ona pri grijanju vri i kao tekućina lako spadne sa olovke.

Kad istražujemo mineral na ugljenu pred puhaljkom, dosta je da imamo sitan komadić minerala; jedan dio minerala smrvimo u vrlo fini prah pa ga ili sama za sebe ili izmiješana sa sodom žarimo na ugljenu pred puhaljkom. Neki minerali žareni sami za sebe ishlape (arsen As, antimon Sb, kamena so NaCl); neki ishlape, ali pri tom ishlapljivanju razvijaju karakterističan miris (arsen, sumpor) ili daju obljep (antimon, olovo, cinak, telur); neki nakon žarenja postaju magnetični (limonit, siderit, hematit); neki nakon žarenja alkalijski reaguju (kalcit, gips). Prah, koji se žari izmiješan sa sodom, tali se, pa se pri tom neki minerali reduciraju u metalno zrno (galenit PbS) ili se dobiva t. zv. reakcija na hepar, a to je reakcija na sumpor. Čitavu tu reakciju mogli bismo ovako prikazati:



Olovni se sulfid dakle reducirao u olovo i stvorio se uz to natrijski sulfid; rastaljenu masu natrijskoga sulfida stavimo na srebrnu Ag pločicu, polijemo vodom i na srebrnoj se pločici pojavi smeđja mrlja od srebrna sulfida Ag<sub>2</sub>S, koji je reakcija na sumpor:



Kod minerala, u kojima se nalazi kao sastavni dio koja alkalijska (Li, Na, K) ili zemljoalkalijska (Ca, Ba, Sr) kovina, pa bakar, borna i fosforna kiselina, istražujemo boju plamena, jer te tvari bojadišu onaj dio plamena, koji ne svijetli (oksidacioni dio); bojadisanje plamena obavljamo tako, da namočimo u hlapljive spojeve pomenutih elemenata platinenu žicu, pa je stavimo u plamen; gdje nema platinene žice, možemo nakvasiti komadić filter-papira otopinom, koju istražujemo, pa nakvašeni papir pristavimo uz plamen tako, da otopina polako hlapi; tako dolaze čestice otopljenoga spoja u plamen i bojadišu ga.

Ovdje ćemo navesti najznačajnije reakcije, pomoću kojih možemo pri određivanju minerala puhaljkom upoznati pojedine elemente, koji sa- stavljaju mineral:

**Aluminij.** Aluminijski spojevi nakvašeni kobaltnom solucijom, pa žareni na ugljenu pred puhaljkom, pomodre; ako je u aluminijском mineralu alkalijska ili željeznoga oksida, ne će uz ovu reakciju pomodriti; kao pokus za ovu reakciju možemo uzeti kaolin.

**Amonij.** Amonijski spojevi grijani u tikvici sa sodom razvijaju miris po amonijaku; vlažni crveni lakmusov papir pomodri od amonijakovih para. Približi li se tim parama stakleni štapić, koji je nakvašen sonom kiselinom, to se razvija maglica (od amonijskoga klorida NH<sub>4</sub>Cl).

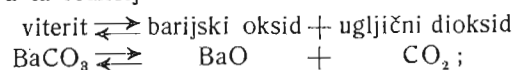


**Antimon.** Antimonski minerali žareni na ugljenu razvijaju jaki modrikasto bijeli dim antimonskoga oksida  $Sb_2O_3$ ; na ugljenu se hvata bijeli obljep zaokružen modrim obodom, koji je sastavljen od antimonskoga oksida teseralne (na vrućim mjestima ugljena) i rompske modifikacije (na hladnim mjestima ugljena). Za pokus uzeti antimonit.

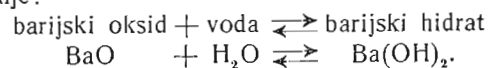
**Arsen.** Arsenski minerali razvijaju žarenjem na ugljenu slab sivkast dim i miris po češnjaku, a na ugljenu se pri tom stvara slab siv obljep od arsenskoga oksida  $As_2O_3$ ; žareni u tikvici, gdje nema dovoljno kisika, sublimiraju na hladnim dijelovima kao As i  $As_2S_3$ . Za pokus uzeti auripigment.

**Bakar.** Bakarni minerali bojadišu boraksovu biserku u oksidacionom plamenu modro; u redukcionom plamenu uz pridodatak kositera ili stano-klorida  $SnCl_2$  biserka je smeđa i neprozirna; izmiješani sa sodom i žareni na ugljenu daju bakarnu trosku, koja nakvašena sonom kiselinom bojadiše plamen najprije modro, zatim zeleno. Otopina bakarnih spojeva postaje sa amonijakom modra. Za pokus uzeti halkopirit.

**Barij.** Barijski minerali bojadišu plamen žuto zeleno (barijski spektar); boja ta potiče od barija. Tu reakciju daje barijski karbonat (viterit  $BaCO_3$ ), kad ga otopimo u sonoj kiselini, pa nakvasimo platinenu žicu ili filterpapir barijskim kloridom  $BaCl_2$ . Ako je barijski mineral sulfat (barit  $BaSO_4$ ), treba ga prije toga jako žariti, da ga pretvorimo u barijski oksid  $BaO$ , pa taj onda nakvasimo razrijedenom sonom kiselinom i pretvorimo u klorid  $BaCl_2$ , koji će, jer je hlapljiv, bojadisati plamen. Barijski karbonat i sulfat žarenjem na ugljenu pretvorimo u oksid, koji pri žarenju na ugljenu svijetli jakim bijelim svijetlom (to je osobina svih alkalijskih i zemljoalkalijskih oksida). Kad taj izareni oksid nakvasimo vodom, prelazi u barijski hidrat  $Ba(OH)_2$ , koji alkalijski reaguje, te od njega crveni lakmusov papir pomodri;<sup>1)</sup> čitava ta reakcija teče ovako:



reakcija teče dalje:



**Berilij.** Boraksova i fosforna biserka od berilijskih spojeva ostaju bezbojne; tek uz suvišak berilijskih spojeva postaju slične emalju. Berilijski minerali žareni sa kobaltnom solucijom postaju sivi.

**Bizmut.** Bizmutski spojevi žareni na ugljenu daju žut obljep, koji potiče od bizmutska oksida  $Bi_2O_3$ ; dok je vruć, obljep je tamno narančast, kad se ohladi, dobiva limunovu boju. Sa sodom taljeni daju krto crvenkasto bijelo bizmutsko zrno. Za pokus uzeti bizmutin.

<sup>1)</sup> Crvenu lakmusovu boju pretvaraju u modru (bazična reakcija) slobodni hidroksilni jontovi, koji postaju disocijacijom baze u vodenoj otopini, na pr.  $Ba(OH)_2 \rightleftharpoons Ba^{++} + 2OH^-$ .

**Bor.** Borni minerali bojadišu plamen zeleno; reakcija je osobito jasna, ako mineral izmiješamo sa kalijским kiselim sulfatom i fluoritom, pa ga žarimo u plamenu pred puhaljkom; plamen će tada zasjati jakom zelenom bojom; borati (i to tetraborati i metaborati, jer od obične borne kiseline  $H_3BO_3$  ne postoje soli) nakvašeni sumpornom kiselinom i pomiješani sa alkoholom, bojadišu rub alkoholna plamena zeleno. Za pokus se može uzeti sasolin.

**Brom.** Bromni minerali, ako ih žarimo u staklenoj tikvici sa kalijским kiselim sulfatom puštaju crveno smeđe pare broma. Bromni mineral taljen u biserki od fosforne soli, u kojoj ima bakarnoga oksida, bojadiše plamen modro zeleno. Za pokus se može uzeti kalijški bromid.

**Cinak.** Cinkani minerali žareni na ugljenu pred puhaljkom stvaraju obljep, koji je u vrućini žut, a kad se ohladi, bijel: obljep nakvašen kobaltnom solucijom pa onda žaren postaje lijepe žutkasto zelene boje. Za pokus se može uzeti sfalerit.

**Dušik (azot)** u formi nitrata. Nitrati žareni na ugljenu pred puhaljkom naglo izgaraju; zagrijevani u staklenoj tikvici sa sumpornom kiselinom razvijaju crvene pare. Za pokus natrijska salitra.

**Fluor.** Fluorni minerali grijani u staklenoj tikvici sa kalijским kiselim sulfatom ili koncentrovanom sumpornom kiselinom razvijaju fluorovodičnu kiselinu, koja nagriza staklo. Za pokus uzeti fluorit.

**Fosfor.** Fosfati nakvašeni sumpornom kiselinom bojadišu plamen zeleno. Za pokus uzeti apatit.

**Jod.** Jodni minerali žareni u staklenoj tikvici sa kalijским kiselim sulfatom razvijaju jodne pare, koje su ljubičaste; pare bojadišu škrobni papir modro. Za pokus uzeti kalijški jodid.

**Kadmij.** Kadmijski minerali stvaraju na ugljenu u blizini žarene tvari crveno smeđi obljep, koji je nešto dalje od žarene tvari narančast. Boraksova je biserka od kadmija u vrućini žuta, a kad se ohladi, gotovo je bezbojna.

**Kalcij.** Kalcijški minerali bojadišu plamen žuto crveno (kalcijški spektar); karbonate valja otopiti u sonoj kiselini, a sulfate jako žariti pa izareni prah nakvasiti sonom kiselinom; reakcija se tada javlja. Prah nakon žarenja alkalijski reaguje (vidi barij!). Za pokus kalcit.

**Kalij.** Kalijški minerali bojadišu plamen ljubičasto (kalijški spektar); ako u mineralu ima natrija ili litija, ne vidi se ljubičasta boja kalija od žute natrijeve ili od crvene litijeve; ali posmatrajući plamen kroz modro kobaltno staklo vidi se ljubičasti plamen; nakon žarenja alkalijski reaguje (vidi barij!). Za pokus uzeti silvin.

**Klor.** U mineralima najlakše ćemo naći klor, ako biserku od fosforne soli, koja je od bakra modra, talimo sa tvari, u kojoj ima klora; pri tom će biserka postati kao purpur crvena. Za pokus kamena so.

**Kobalt.** Kobaltni minerali bojadišu boraksovu biserku intenzivno modro; otapani u dušičnoj kiselini daju crvenu otopinu od kobaltne nitrata. Za pokus kobaltin ili smaltin.

**Kositer.** Kositerni minerali taljeni sa sodom na ugljenu reduciraju se u sitne sjajne bijele listiće, koji su rastežljivi (duktilni); na ugljenu stvaraju bijeli obljep, koji ne iščezava. Za pokus kasiterit.

**Kremična kiselina (silicij).** Kremen i silikati daju u biserci od fosforne soli nerastaljeni ostatak, t. zv. kremen skelet. Neki su silikati u sonoj kiselini topljivi, pa izlučuju sluzavu ili praškastu (koloidnu) kremičnu kiselinu; neke silikate moramo taliti sa sodom na ugljenu pa tu rastaljenu masu u sonoj kiselini otopiti; pri tom se izlučuje praškasta kremična kiselina. Za pokus kremen ili olivin.

**Krom.** Kromni minerali bojadišu boraksovu biserku u oksidacionom plamenu za vrućega tamno crveno; kad se ohladi, biserka je zelenkasto žuta ili žuta. U redukcionom plamenu biserka je smaragdno zelene boje. Sa sodom i salitrom taljeni daju žutu masu. Za pokus kromit.

**Litij.** Litijski minerali bojadišu plamen crveno kao karmin (litijski spektar); u prisuću natrija plamen je žuto crven. Nakon žarenja reaguju alkalijski (vidi barij!). Za pokus uzeti litionit.

**Magnezij.** Magnezijjski minerali nakvašeni kobaltnom solucijom i onda žareni na ugljenu postaju blijedo ružičasti, crvenkasti. Nakon žarenja reaguju alkalijski (vidi barij!). Za pokus magnezit.

**Mangan.** Manganski minerali bojadišu boraksovu biserku u oksidacionom plamenu ljubičasto. Biserka je u redukcionom plamenu bezbojna. Sa sodom i salitrom taljeni stvaraju zelenu masu. Manganski oksidi i hidrokksidi grijani sa sonom kiselinom razvijaju klor. Za pokus psilomelan.

**Molibden.** Molibdenski minerali stvaraju na ugljenu u oksidacionom plamenu obljep, koji je u vrućini žutkast, kad se ohladi, bijel, a u blizini žarene tvari bakarno crven. U redukcionom plamenu postaje bijeli obljep taman. Boraksova biserka u oksidacionom je plamenu za vrućega crvena, kad se ohladi, bezbojna ili opalna. U redukcionom je plamenu biserka smeđja i neprozirna. Za pokus molibdenit.

**Natrij.** Natrijski minerali bojadišu plamen žuto (natrijski spektar); nakon žarenja reaguju alkalijski (vidi barij!).

**Nikalj.** Nikaljni minerali bojadišu boraksovu biserku u oksidacionom plamenu za vrućega ljubičasto, kad se ohladi, crveno smeđe. U redukcionom je plamenu biserka mutna od izlučenoga nikla; uz dulje žarenje postaje bezbojna. Otapani u dušičnoj kiselini daju zelenu otopinu od nikaljne nitrata. Za pokus nikelin.

**Olovo.** Olovni minerali žareni na ugljenu daju u blizini žarene tvari žuti obljep od PbO, koji je obrubljen bijelim rubom od PbCO<sub>3</sub>; žareni sa sodom na ugljenu reduciraju se u olovno zrno. Za pokus galenit.

**Selen.** Selenski minerali žareni na ugljenu razvijaju jak miris po gnjiljoj rotkvi i stvaraju tanak siv obljep; u oksidacionom plamenu tale se i bojadišu plamen modrom bojom različka; u otvorenoj staklenoj cijevi daju u blizini grijanja metalni, a dalje od mjesta grijanja crveni sublimat. Za pokus klaustalit.

**Srebro.** Srebrni minerali lako se reduciraju sa sodom na ugljenu; zrno dobitno redukcijom lako se otapa u dušičnoj kiselini, koja sa sonom kiselinom daje bijeli talog srebrna klorida. Za pokus argentit.

**Stroncij.** Stroncijski minerali bojadišu plamen kao purpur crveno (stroncijski spektar); nakon žarenja alkalijski reaguju (vidi barij!). Za pokus stroncijanit.

**Sumpor** se raspoznaje kod mnogih sulfida, kad ih žarimo na ugljenu, po mirisu od SO<sub>2</sub>. Sulfidi i sulfati žareni sa sodom na ugljenu daju masu, koja nakvašena vodom daje na srebrnoj ploči hepar-reakciju. Za pokus pirit.

**Telur.** Telurski minerali žareni na ugljenu daju bijeli obljep od TeO<sub>2</sub>, koji je obično crveno ili tamno žuto obrubljen; u redukcionom plamenu obljep iščezava bojadišući plamen zeleno. Za pokus nadjagit.

**Ugljična kiselina** razvija se iz karbonata, kad ih nakvasimo sonom kiselinom. Za pokus kalcit.

**Titan.** Titanski minerali bojadišu biserku od fosforne soli u redukcionom plamenu slabo ljubičasto; u oksidacionom je plamenu biserka bezbojna. Pridodamo li biserci u redukcionom plamenu nešto malo zelene galice, pocrveni kao krv, ali uz pridodatak kositera vraća joj se ljubičasta boja. Talimo li titanske minerale sa sodom pa ih tada u sonoj kiselini otopimo i dodamo metalnoga cinka ili kositera pa tu otopinu ugrijemo, postaje ona ljubičasta. Za pokus rutil.

**Uran.** Uranski minerali bojadišu boraksovu biserku u oksidacionom plamenu u vrućini crveno, u hladnome žuto zeleno; biserka od fosforne soli u oksidacionom je plamenu zelenkasto žuta, u redukcionom lijepo zelena. Za pokus uranski smolinac.

**Vanadij.** Vanadijski minerali daju u oksidacionom plamenu u vrućini bezbojnu ili žutu boraksovu biserku; kad se ohladi, ta je biserka zelenkasto žuta. U redukcionom plamenu boraksova je biserka u vrućini smeđja, kad se ohladi, zelena. Za pokus vanadinit.

**Voda** se hvata na stijene tikvice, kad u njoj žarimo mineral, koji ima vode. Za pokus limonit.

**Volfram.** Volframski minerali bojadišu jako zasićenu biserku od boraksa u oksidacionom plamenu u vrućini žuto; kad se ta biserka ohladi, postane bezbojna ili opalna. U redukcionom je plamenu jako zasićena biserka tamno žuta. Biserka od fosforne soli u redukcionom je plamenu, dok je vruća, muzgavo zelena, a kad se ohladi, modra; uz pridodatak željeznoga oksida biserka je crvena kao krv, ali uz pridodatak kositera

postaje opet zelena ili modra. Taljeni sa sodom, pa otopljeni u sonoj kiselini i grijani uz pridodatak cinka, daju otopinu lijepe modre boje. Za pokus volframit.

**Zlato.** Zlatne rude izmiješane sa sodom i taljene na ugljenu lako se reduciraju u zlatno zrno, koje se ne otapa ni u sonoj, ni u dušičnoj kiselini, nego u zlatotopki. Za pokus nadjagat.

**Željezo.** Željezni minerali nakon žarenja na ugljenu postaju magnetični. Magnetične listiće možemo dobiti i onda, ako željezni mineral izmiješamo sa sodom i reduciramo žarenjem na ugljenu. Boraksova je biserka u oksidacionom plamenu, dok je vruća, žuta ili crvena, kad se ohladi, žuta ili bezbojna. U redukcionom plamenu ta je biserka zelena poput stakla butilje. Za pokus hematit.

**Živa.** Živini minerali žareni pred puhaljkom gube živu, koja ishlapljuje; sa sodom izmiješani i žareni u tikvici, sublimiraju živu na hladnim dijelovima tikvice u formi sitnih kapljica. Živin sulfid daje u tikvici crni obljep, koji postaje od ribanja crven. Za pokus rumenica.

Za određivanje minerala puhaljkom imamo malu knjižicu od *C. W. Fuchs-a*, koja je prevedena na srpsko-hrvatski jezik: „*Uputstvo u određivanje ruda*“. U tom je „Uputstvu“, iz kojega smo uzeli reakcije pomenutih elemenata, naveden čitav tok istraživanja za pojedine minerale.

**123. Neke minerale možemo odrediti pomoću mikrokemijskih reakcija.** Ima slučajeva, da se čovjek namjeri na vanredno sićušan mineralni individuuum, koji treba odrediti. Može to biti ili vanredno sićušan kristalić ili sićušno zrnce, koje se tek pod mikroskopom zapaža, ali dimenzije su mu tako malene, da se na njem ne dadu odrediti optička svojstva, po kojima bismo još jedino mogli zaključiti, koje je prirode taj mineral. Osobito se lako možemo namjeriti na tako sićušne individue kod mikroskopskoga istraživanja stijena, gdje se u izbrusku nalaze kadikad sitna zrnca ili kristalići nekih minerala. Da uzmognemo i tako sitne individue upoznati, služimo se *mikrokemijskim reakcijama*. Kod mikrokemijskih reakcija radi se, kako se iz razloženoga vidi, sa vrlo neznatnim količinama tvari, koju moramo dobiti u otopljenom stanju, pa sa posve neznatnom količinom zgodnoga reagensa djelujemo na otopinu. Pri toj reakciji razvijaju se sitni kristali u lijepo razvitim formama, karakteristični za tvar, koju istražujemo. Kristaliće, koje smo na taj način dobili, istražujemo pod mikroskopom metodom kristalne optike. Na taj način saznajemo samo izvjestan element, po kojemu onda saznajemo i istraživani mineral.

Mikrokemijske su reakcije zapravo kvalitativno istraživanje minerala mokrim putem. Ali pri tom istraživanju ne služimo se onim reagencijama, koje se upotrebljuju pri običnoj kvalitativnoj analizi mokrim putem. Kod obične kvalitativne analize upotrebljavamo reagencije, što stvaraju netopljive taloge, koji su sastavljeni od čestica, na kojima se ne vide kristalne

forme, pa zbog toga nisu zgodni za optičko istraživanje. Kod mikrokemijskih reakcija treba dakle tražiti takve reagencije, koje daju taloge u vrlo lijepim i karakterističnim kristalima. Reakcije moraju biti vanredno osjetljive, jer se radi sa vrlo neznatnim količinama tvari. Zato je dobro uzeti reagencije, koje stvaraju teško topljive spojeve velikih molekula i jasnih kristalnih forma. Tako se na pr. za mikrokemijsko dokazivanje minimalnih količina aluminija upotrebljava kao reagens cezijski sulfat  $Cs_2SO_4$ , koji će sa aluminijem stvoriti cezijski alaun  $Cs_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 \cdot 24H_2O$ ; iz formule se vidi, da cezijski alaun ima veliku molekulu te je zgodan za dokazivanje malih količina aluminija.

Kod mikrokemijskog istraživanja tražimo, kazali smo, samo neki element i to nam dostaje, da saznamo vrstu minerala. Da to objasnimo! U jednom amfibolitu iz potoka Križevca iznad Vetova u Slavoniji nadjen je i jedan listićavi mineral u tako sićušnim individuima, da se na njem nisu dala odrediti optička svojstva, po kojima bismo mogli zaključiti, kojemu mineralu pripadaju, a za kemijsku analizu uopće nije bilo moguće dobiti materijala. Pod mikroskopom se vidjelo, da je mineral listićave strukture, da je bezbojan i jačega loma svijetla od kanadskoga balzama. Mogao bi biti po izgledu muskovit  $H_2KA_3Si_3O_{12}$  ili brucit  $Mg(OH)_2$ . Valjalo se poslužiti mikrokemijskom reakcijom, pa potražiti ili kalij (ako je muskovit) ili magnezij (ako je brucit). Djelovanjem sona kiseline listići se otapaju vrlo polagano (dakle već to govori, da ne pripadaju muskovitu). Od te otopine uzela se mala kapljica i stavila na objektno staklo, dodala joj se kapljica amonijakova klorida, amonijaka i sićušno zrnce fosforne soli. Otopina se lagano na vodenoj kupelji isparila; pri tom su se iskristalizovali sitni kristali forme minerala struvita  $NH_4MgPO_4 \cdot 6H_2O$ . Mikrokemijskom reakcijom dokazao se magnezij; istraživani mineral pripada dakle brucitu.

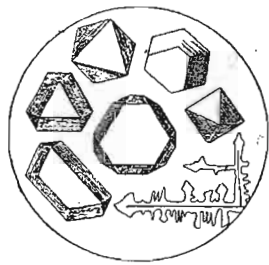
Kao topila, pomoću kojih ćemo neki mineral pretvoriti u otopinu, da u njoj obavljamo mikrokemijske reakcije, služi voda  $H_2O$ , a od kiselina sona  $HCl$ , dušična (azotna)  $HNO_3$ , sumporna  $H_2SO_4$ , silikofluorna  $H_2SiF_6$  i fluorovodik  $HF$ . Ako se mineral nalazi u izbrusku, oprezno se izdvoji od ostalih minerala i stavi na objektno staklo, te nakvasi onom kiselinom, u kojoj se otapa. Kapljici mineralne otopine doda se kapljica reagensa, pusti se da se isparivanjem nastali spoj kristalizuje i onda se istražuje pod mikroskopom optičkim putem. Ako moramo upotrijebiti kao topilo fluorovodik ili silikofluornu kiselinu, prevučemo objektno staklo tanušnim slojem kanadskoga balzama, da zapriječimo otapanje stakla. Uopće kod čitavoga ovoga rada potrebna je velika spretnost i vještina, koja se postizava samo dugim radom.

Mikrokemijske reakcije potiču od češkoga mineraloga *E. Bořický*,<sup>1)</sup>

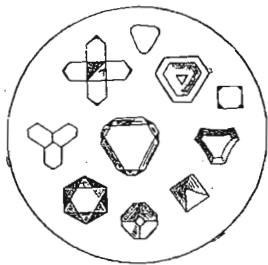
<sup>1)</sup> *E. Bořický*: Elemente einer neuen chemisch-mikroskopischen Mineral- und Gesteinsanalyse. Archiv der naturwiss. Landesdurchforschung von Böhmen. Bd. 3. pag. 80. Prag. 1877.

koji ih je prvi upotrebljavao (1877.) istražujući mineralne sastavke stijena. U tu svrhu on je kao topilo upotrebljavao silikofluornu kiselinu  $H_2SiF_6$ ; ona pri isparivanju razvija fluorovodik HF, koji jako otapa silikate te sa alkalijama i zemljoalkalijama stvara vrlo jasne kristaliće njihovih silikofluorida, na pr. kalcijskoga silikofluorida  $CaSiF_6 \cdot 2H_2O$ . Kasnije se je *Bořickova* metoda sve više usavršavala pa su nadjene zgodne reakcije za razne elemente, pri čemu je mnogo radio *K. Haushofer*, *A. Treng*, *H. Behrens* i dr. Navest ćemo mikrokemijske reakcije samo nekih elemenata:

*Aluminij* se može dokazati kao cezijski alaun  $Cs_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 \cdot 24H_2O$ , ako dodamo neutralnoj ili slabo kiseloj otopini koje aluminijske soli cezijskoga sulfata; u tom slučaju kristalizuju se pri isparivanju otopine teseralni sitni kristali cezijskoga alauna u formama oktaedra i heksaedra (sl. 776.). Ako je otopina jako prezasićena stvaraju se uz jasne kristale i kristalni skeleti (sl. 776.).



Sl. 776.



Sl. 777.

*Amonijak* i *amonijske soli* daju sa platinskim kloridom  $PtCl_6$  žute teseralne kristale amonijskoga kloroplatinata  $(NH_4)_2PtCl_6$  u formi oktaedra (sl. 777.); kristali su jednaki kristalima kalijskoga kloroplatinata  $K_2PtCl_6$ . Ako se u amonijskoj otopini nalazi i kalij, moramo dodati otopini kapljicu natrijske lužine NaOH; tada će amonijak iz otopine ishlapiti, pa ako se kraj otopine nalazi kapljica platinskoga klorida, stvorit će se u njoj sitni kristalići amonijskoga kloroplatinata.

*Antimon* možemo dokazati kao cezijski kloroantimonit  $Cs_2SbCl_5 \cdot 25H_2O$ , ako dodamo otopini od antimonskoga klorida nešto malo cezijskoga klorida; tada se kristalizuje kloroantimonit u tanušnim šestorostranim bezbojnim listićima sa kutom (uglom) od  $118^\circ$  i  $122^\circ$ .

*Arsen* ćemo dokazati mikrokemijski kao magnezijski amonijski arsenijat  $MgNH_4AsO_4 \cdot 6H_2O$  tako, da arsenski spoj pretvorimo najprije pomoću dušične kiseline i kalijskoga kromata zagrijevanjem u arsensku kiselinu, kojoj dodamo u suvišku amonijaka. Kapljici tako priredjene otopine dodamo kapljicu otopine, u kojoj se nalazi amonijskoga klorida, amonijaka

i magnezijskoga klorida, to naglo ugrijemo, pa onda brzo ohladimo uz dodatak amonijaka. Pri tom se razviju rompski hemimorfni kristalići magnezijskoga amonijskoga arsenijata (sl. 778.).



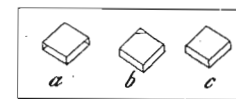
Sl. 778.



Sl. 779.



Sl. 780.



Sl. 781.

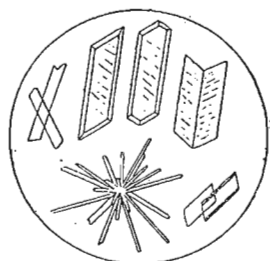
*Bakar* u razrijeđenim otopinama uz mnogo amonijaka i malo ferocijankalija stvara uz lagano isparivanje kristale amonijskoga kuprifero-cijanida (sl. 779.), koji su sastavljeni djelomice od rompskih, djelomice od tetragonskih pločica. U početku su kristalići svjetlo žuti, ali postepeno postaju smeđi i kao cigla crveni; prešli su naime u kuprifero-cijanid  $Cu_2Fe(CN)_6$ . Ako u otopini ima i željeza, mora se ono nakon dodatka amonijaka ofiltrirati i u filtratu na pomenuti način dokazati bakar.

*Barij*. Otapajući silikate, u kojima je barija, fluorovodikom i sumpornom kiselinom, ostaje amorfnj barijski sulfat kao netopljivi talog. Taj talog treba otopiti u koncentrovanoj sumpornoj kiselinu, pa će se iz te otopine iskrystalizovati sitni kristali barijskoga sulfata  $BaSO_4$  u formi pravokutnih pločica (rompski sustav) i skeleta u formi slova X (sl. 780.b). — Možemo dokazati mikrokemijski barij i kao barijski oksalat  $BaC_2O_4 \cdot H_2O$ , ako hladnoj otopini barijske soli dodamo oksalne kiseline. Tada će se kristalizovati barijski oksalat u formi monoklinskih kristala, koji potamne koso pod kutom od  $25 - 28^\circ$ . — Isto tako možemo dokazati barij i kao

ferocijanbarijkalij  $\text{FeCy}_6\text{BaK}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , ako toploj jako razrijeđenoj neutralnoj otopini barijskoj dademo kapljicu ferocijankalija; tada će se pri ohlađivanju i isparivanju iskristalizovati romboedrijski kristali ferocijanbarijkalija (sl. 781.). Ovu reakciju daju i kalcijске soli, ako im dodamo amonijskoga klorida; stroncijske soli ne daju te reakcije. — Silikofluorna kiselina stvara u vrlo razrijeđenim otopinama barijskih soli kristale barijskoga silikofluorida  $\text{BaSiF}_6 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , koji su romboedrijskoga sustava.

**Bizmut** ćemo mikrokemijski prepoznati, ako u otopinu bizmutskoga klorida stavimo malo rubidijskoga klorida; tada će se iskristalizovati sitni kristali rubidijskoga klorobizmutita  $\text{Rb}_2\text{BiCl}_5 \cdot 25\text{H}_2\text{O}$  u formi tanušnih bezbojnih šestorostranih listića, koji su malo oduljeni; neki kristali pokazuju oštre forme romba sa tupim kutom od  $117^\circ$ .

**Cinak.** Ako kiseloj otopini cinkane soli dodamo natrijskoga karbonata,



Sl. 782.



Sl. 783.

oborit će se pahuljasti talog cinkana karbonata; uz suvišak natrijskoga karbonata prijeći će pahuljasti talog u bezbojne teseralne kristale natrijskoga cinkanoga karbonata  $3\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 8\text{ZnCO}_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ , koji imaju formu tetraedra.

**Kalcij** ćemo dokazati mikrokemijski kao kalcijски sulfat; treba samo otopini kalcijске soli dodati sumporne kiseline, pa će se iskristalizovati većinom sićušne iglice gipsa  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (sl. 782.).<sup>1)</sup> Ako je sumporna kiselina koncentrovana i topla, izlučuju se iz nje eliptični kristalčići anhidrita (sl. 780.a). — Kalcij se daje mikrokemijski dokazati i kao kalcijски oksalat  $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ; ako hladnoj razrijeđenoj otopini kalcijске soli dodamo kapljicu dušične kiseline i koncentrovane oksalne kiseline, iskristalizovat će se tetragonske piramide (sl. 783.a), koje su slične piramidama stroncijskoga oksalata. Tu i tamo bit će i monoklinskih kristala rompskoga habita, koji potamne koso. Ako se ta reakcija obavlja u vrućoj otopini,

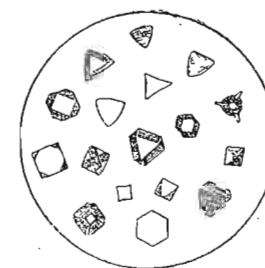
<sup>1)</sup> Obavljajući mikrokemijske reakcije sa gipsom u krečnjacima našega krša, našli smo, da se iz čiste vodene otopine gipsa kristalizuju sferokristali anhidrita  $\text{CaSO}_4$ ; ako toj otopini dodamo malo sone kiseline, nema kalcijски sulfat više forme sferokristala nego formu jasnih kristalnih individua (F. Tučan: Mikrochemische Reaktionen des Gipses und Anhydrites. Centralblatt für Mineralogie etc. I. 1908. pag. 134.).

razvijaju se monoklinski kristali rompskoga habita (sl. 783.b) sa slabim kosim potamnjenjem. — Sa silikofluornom kiselinom daju kalcijске otopine vretenaste kristale kalcijskoga silikofluorida  $\text{CaSiF}_6 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (sl. 784.).

**Kalij.** Otopina kalijске soli daje sa platinskim kloridom kristale kalijskoga kloroplatinata  $3\text{K}_2\text{PtCl}_6$ , koji su posve jednaki kristalima amonijskoga kloroplatinata (sl. 777.). — Sa silikofluornom kiselinom kristalizuju se iz otopine koje kalijске soli teseralni kristali (heksaedar sa oktaedrom ili bez njega) kalijskoga silikofluorida  $\text{K}_2\text{SiF}_6$ .



Sl. 784.



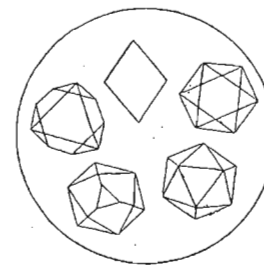
Sl. 785.

**Klor.** U otopinu kojega klornoga spoja, kojoj smo dodali malo sumporne ili dušične kiseline, metnemo kapljicu srebrna nitrata, zasitimo amonijakom, ofiltrujemo i filtrat isparimo; pri tom će se iskristalizovati sitni teseralni kristali srebrna klorida  $\text{AgCl}$  u formi heksaedra i oktaedra (sl. 785.).

**Litij** možemo dokazati mikrokemijski kao litijски fosfat  $\text{Li}_3\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , koji se stvara, kada toploj otopini litijске soli dodamo natrijskoga fosfata; litijски fosfat kristalizuje se pri tom u formi rompskih kristala.



Sl. 786.



Sl. 787.



Sl. 788.

**Magnezij.** Kad u razrijeđenu otopinu magnezijске soli stavimo kapljicu natrijskoga fosfata, amonijskoga klorida i dosta amonijaka, pa to prigrijemo na vodenoj kupelji, kristalizuju se hemimorfni rompski kristali

amonijskoga magnezijškoga fosfata  $\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  u formi istoj kao i magnezijški arsenijat (sl. 778.).

**Natrij.** Od otopine, u kojoj se nalazi vrlo malo natrija, uzme se kapljica i osuši, tome se doda kapljica ocatne kiseline, u kojoj zagrijevanjem otopimo sitno zrnice uranilacetata (sl. 786.b) i pustimo da se ishlapi; pri tom će se iskristalizovati sitni teseralni svjetlo žuti tetraedri natrijskoga uranilacetata  $\text{NaC}_2\text{H}_3\text{O}_2 \cdot \text{UO}_2(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$  (sl. 786.a). Ta je reakcija vanredno osjetljiva. — Ako kao reagens upotrebimo magnezijški uranilacetat ili uranilacetat i magnezijški acetat, razvijaju se iz otopine, u kojoj se nalaze samo tragovi natrija, romboedrijski kristaliči natrijskoga magnezijškoga uranilacetata  $\text{NaC}_2\text{H}_3\text{O}_2 \cdot \text{UO}_2(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2 + \text{Mg}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2 \cdot 2\text{UO}_2(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2 + 9\text{H}_2\text{O}$  (sl. 787.); kristali su se razvili obično kao kombinacija (0001) i (10 $\bar{1}$ 1). — Sa silikofluornom kiselinom stvara natrij heksagonske kristale natrijskoga silikofluorida  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ .

**Olovo.** Razrijedjene otopine olovne soli daju sa razrijedjenom sonom kiselinom oduljene šestorostrane ili rompske pločice olovnoga klorida  $\text{PbCl}_2$  (sl. 788.) — Otopina olovne soli, u kojoj ima dušične kiseline, daje nakon isparenja teseralne bezbojne oktaedre olovnoga nitrata  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ .

**Srebro.** Otopine srebrnih soli daju sa sonom kiselinom pahuljasti bijeli talog, koji je u amonijaku topljiv; ovakva otopina nakon isparenja izlučuje teseralne kristale srebrna klorida  $\text{AgCl}$  (sl. 785.).

**Stroncij.** Otopine stroncijskih soli daju sa oksalnom kiselinom iste mikrokemijske reakcije kao i kalcij; t. j. iz vruće otopine obaraju se pločasti monoklinski kristali stroncijskoga oksalata  $\text{SrC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  šestorostranih kontura (sl. 783.a), a iz hladne otopine kvadratične piramide, koje su, sudeći po kosom potamnjenju, monoklinskoga sustava (sl. 783.b). — Sa sumpornom kiselinom stvaraju stroncijske soli kristale stroncijskoga sulfata  $\text{SrSO}_4$ , koji se razlikuju od kalcijškoga sulfata, što nisu pravokutne nego rompske pločice (sl. 780.c.)<sup>1)</sup>

**124. Neke minerale možemo vještački da priredimo.** Želeći čovjek saznati način postajanja minerala u prirodi, pokušao je da sam stvori takve minerale, pa da onda iz njihova postajanja u laboratoriju može zaključiti na način njihova postajanja u prirodi. Pri tim je pokusima uspjele čovjeku dobiti čitav niz kemijskih spojeva (i po koji elemenat), koji se po svojim kristalografskim i kemijskim osobinama ni u čemu ne razlikuju od jednakih kemijskih spojeva u prirodi, od minerala. Te spojeve, koji su posve istovetni mineralima, zovemo *vještačkim* ili *sintetičkim mineralima*.

Oko dobivanja vještačkih ili sintetičkih minerala osobito su se mnogo

<sup>1)</sup> C. W. C. Fuchs — R. Brauns: Anleitung zum Bestimmen der Mineralien. Giessen 1907. pag. 72. — L. Duparc et A. Monnier: Traité de technique minéralogique et pétrographique. Deuxième partie. Tome I. pag. 27. Leipzig. 1913. — H. Rosenbusch — E. A. Wülfing: Mikroskopische Physiographie etc. Fünfte Auflage. 1921/1924. pag. 742.

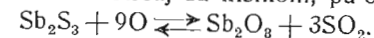
bavili francuski mineralozi, kojima je uspjele dobiti čitav niz spojeva, koji su potpuno istovetni prirodnim mineralima. U djelu „Synthèse des minéraux et des roches“ od F. Fouqué-a i M. Lévy-a<sup>1)</sup> naći ćemo vrlo mnogo podataka o načinu toga dobivanja i o vještačkim mineralima (i stijenama).

Neke od elemenata i spojeva možemo dobiti jednostavnom *sublimacijom*. To je moguće naročito kod takvih spojeva, čija se tvar lako isparuje. Grijemo li takvu tvar ili je jako žarimo (već prema prirodi tvari) u lončiću, staklenoj cijevi ili na objektnom staklu, početi će ona da se isparuje. Ako njezine pare dodju na hladnije dijelove lončića, cijevi ili objektnoga stakla, tu će se hvatati prelazeći iz parovitoga stanja u čvrsto; sublimirat će se. Na taj način možemo posve lako dobiti sumpor S, arsen As, realgar  $\text{As}_2\text{S}_3$ , auripigment  $\text{As}_2\text{S}_5$ , rumenicu  $\text{HgS}$ , antimonit  $\text{Sb}_2\text{S}_3$ , galenit  $\text{PbS}$ , senarmontit i valentinit  $\text{Sb}_2\text{O}_3$ , salmijak  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , kamenu so  $\text{NaCl}$  i t. d. Neki od pomenutih spojeva postaju sublimacijom pri procesima, što se vrše kod istaljivanja ruda u talionicama.

Ali kako svi minerali uz dovoljnu temperaturu mogu da se isparuju, to će moći sublimacijom da postanu i onakvi minerali, koji se vrlo teško tale. H. Moissan je na pr. pokusima dokazao, da se cirkon  $\text{ZrO}_2 \cdot \text{SiO}_2$  i kremen  $\text{SiO}_2$ , koji su pred puhaljkom netaljivi, tale i vriju u električnoj peći u struji od 60 Ampèra i 70 Volta; uz ključanje razvijaju oba minerala velike količine para, koje pri ohladjivanju prelaze opet u cirkon i kremičnu kiselinu.

Jednostavni elementi uz izvjesnu temperaturu prelaze u pare, a spojevi se pri tom kadikad raspadaju u svoje sastavke, pa na taj način mogu da se razviju neki vještački minerali. G. Rousseau je tako u električnom luku uz običan atmosferski tlak rastavio acetilen  $\text{C}_2\text{H}_2$  u njegove sastavke i dobio na taj način grafit i sitna crna zrnca, koja su imala svojstva dijamanta C.

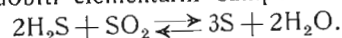
Mnogi vještački minerali mogu postati i na taj način da *plinovi ili pare različitih tvari stupe u međusobne reakcije*. Kada na pr. žarimo antimon, on ishlapljuje; njegove pare dolaze u doticaj sa kisikom uzduha i tako se stvaraju antimonski oksidi  $\text{Sb}_2\text{O}_3$ , koji su poznati u prirodi kao minerali senarmontit (teseralan) i valentinit (rompski). Taj je način postajanja u toliko zanimljiv, što i u prirodi na jednaki način postaju pomenuti antimonski oksidi. Svako naime tijelo, čvrsto ili tekuće, nalazeći se slobodno na uzduhu, otpušta od sebe svoje čestice: isparuje, hlapi, i to više, što je jači njegov tlak pare. Antimonit nalazeći se na uzduhu po malo hlapi i dolazi tako u doticaj sa kisikom, pa od sulfida postaje oksid:



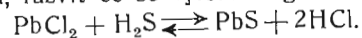
Na taj je način prešao jedan dio antimonita, što ga nalazimo na brdu Gliječi kod Ivanjice u Raškoj oblasti, u antimonske okside.

<sup>1)</sup> Paris, 1882.

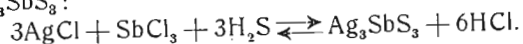
Medjusobnim djelovanjem sumpornoga vodika  $H_2S$  i sumporaste kiseline  $SO_2$  možemo dobiti elementarni sumpor:



Ako pustimo da uz visoku temperaturu djeluju pare metalnih klorida na pare sumpornoga vodika, dobit ćemo i onakove sulfide, koji su dosta teško hlapljivi. Na pr. ako djeluju medjusobno pare olovnoga klorida  $PbCl_2$  i sumpornoga vodika, razvit će se vještački galenit  $PbS$ :

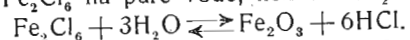


Isto tako možemo dobiti i dosta komplicirane sulfide iz grupe sinjavaca. Ako na pr. uz visoku temperaturu djeluju pare srebrnoga klorida  $AgCl$ , antimonskoga klorida  $SbCl_3$  i sumpornoga vodika, razvit će se spoj, koji tačno odgovara po svojim kristalografskim i fizičkim svojstvima pirargiritu  $Ag_3SbS_3$ :

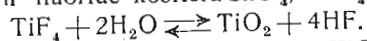


*Durocher* je tako dobio, djelujući kod temperature crvenoga usijanja parama metalnih oksida na pare sumpornoga vodika u porculanskim i drugim cijevima, halkopirit  $CuFeS_2$ , sfalerit  $ZnS$ , galenit  $PbS$ , rumenicu  $HgS$ , antimonit  $Sb_2S_3$ , pirit  $FeS_2$ , pirargirit i druge sinjavce.

Ako pustimo da na metalne kloride djeluju kod visoke temperature vodene pare  $H_2O$ , dobit ćemo okside, koji su također istovetni prirodnim oksidima. *Gay-Lussac* je dobio, djelujući kod visoke temperature parama željeznoga klorida  $Fe_2Cl_6$  na pare vode, hematit  $Fe_2O_3$ :



*Daubrée* je dobio vještačkim putem kasiterit  $SnO_2$ , rutil  $TiO_2$  (tetragonski) i brukit  $TiO_2$  (rompski) djelujući kod visoke temperature vodenim parama na kloride ili fluore kositera  $SnCl_4$ ,  $SnF_4$  i titana  $TiCl_4$ ,  $TiF_4$ ; na pr.:



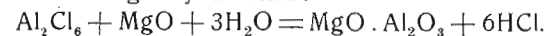
*Hautefeuille* dobio je i treću modifikaciju  $TiO_2$ , anatas, djelovanjem para  $TiF_4$  na pare  $H_2O$  kod temperature, koja je odgovarala vrelištu kadmija. *H. Sainte-Claire Deville* i *Caron*, kad su pustili da pare aluminijskoga fluorida  $Al_2F_6$ , cinkana oksida  $ZnO$  i borne kiseline  $H_3BO_3$  dodju u medjusobnu reakciju, dobili su spoj  $ZnO \cdot Al_2O_3$ , koji je tačno odgovarao ganitu, mineralu iz grupe spinela.

Mogu postati vještački minerali i onda, kada djeluju plinovi ili pare na čvrsto tijelo. Pri tom se događa da pojedini sastavni dijelovi plina udju u kemijski spoj sa kojim sastavnim dijelom čvrstoga tijela i stvore tako nov postojani spoj; ili sastavni dijelovi plina i pare samo u toliko utiču na čvrsto tijelo, da ono prijedje u neki nov spoj, dok pojedini sastavci plina u taj novi spoj uopće ne ulaze. U takvim slučajevima razvijaju se većinom nepostojani spojevi, koji se raspadaju pa prelaze u nove postojane spojeve. Plinove i pare, koji samo podstrekavaju postajanje novih spojeva, a sami u njih ne ulaze, nazvali su *Elie de Beaumont* i *H. Sainte-*

*Claire Deville* podstrekovima pri stvaranju minerala ili „agents minéralisateurs“. Takvi su podstrekovi naročito plinoviti spojevi fluora, klora i bora.

*Sidot* je grijao cinkani oksid u parama sumpora i dobio je cinkani sulfid  $ZnS$  svojstava vircita, a kad je puštao paru sumpora da prelazi preko užarena olovna silikata, dobio je olovni sulfid  $PbS$  svojstava galenita. *Dumas* je priredio vještački argentit  $Ag_2S$ , kad je puštao pare sumpora da prelaze preko užarena srebra. *Sainte-Claire Deville* i *Troost* dobili su vircit puštajući da na užareni amorfan cinkani sulfid djeluje struja vodika; u tom je slučaju bio vodik podstrekav postajanja vircita.

Do oksida možemo doći vještačkim putem, ako pustimo da na užarene kloride ili metale djeluju vodene pare. Tako je *S. Meunier* dobio spinel  $MgO \cdot Al_2O_3$ , kada je djelovao uz visoku temperaturu vodenom parom na aluminijski klorid i magnezijski oksid:

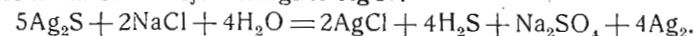


Iz cinka, cinkana klorida i vodene pare postaje cinkit  $ZnO$ ; iz željeza i vodene pare hematit  $Fe_2O_3$ ; iz antimona i vodene pare valentinit  $Sb_2O_3$ .

Ako vodene pare djeluju na spojeve, u kojima se nalazi metal, koji se teško oksidira, ne će doći do tvorbe oksida nego do redukcije metala. Tako će na pr. iz  $Ag_2S$  i vodene pare postati srebro uz sumpornu kiselinu i sumporni vodik:



Iz smjese srebrna sulfida i natrijskoga klorida djelovanjem vodene pare može da se razvije kerargirit  $AgCl$ :



Jednako će se iz srebrna sulfida i kalijskoga jodida djelovanjem vodene pare razviti jodit  $AgJ$ .

Klorni vodik  $HCl$  i kloridi mogu da pretvore amorfne okside u kristalizovane. *Sainte-Claire Deville* puštao je preko usijanih amorfnih oksida kositera i titana klorni vodik, pa je dobio kasiterit  $SnO_2$  i rutil  $TiO_2$ .

Djelovanjem hlapljivih klorida na usijane okside uspjelo je *Daubrée*-u dobiti razne okside i druge spojeve. Puštajući tako pare cinkana klorida preko usijanoga kalcijskoga oksida dobio je kristale cinkita  $ZnO$ , a kad je mjesto cinkana klorida uzeo magnezijski klorid, dobio je na isti način periklas  $MgO$ ; zatim je dobio: iz željeznoga klorida hematit  $Fe_2O_3$ , iz kositerina klorida kasiterit  $SnO_2$ , iz silicijskoga klorida kremen  $SiO_2$ , iz titanskoga klorida rutil  $TiO_2$  (uz nižu temperaturu brukit); iz aluminijskoga i magnezijskoga klorida spinel  $MgO \cdot Al_2O_3$ , iz aluminijskoga klorida i cinkana klorida ganit  $ZnO \cdot Al_2O_3$ ; iz fosfornoga klorida i kalcijskoga oksida apatit  $Ca_3(PO_4)_2$ . *S. Meunier* je dobio enstatit  $MgSiO_3$  puštajući pare silicijskoga klorida, magnezija i vode da djeluju medjusobno; kad je pustio da djeluju medjusobno pare aluminijskoga klorida i vode, dobio je korund  $Al_2O_3$ ; ako je pustio da uz pare aluminijskoga klorida i vode djeluju još i pare

silicijskoga klorida, dobio je kristalizovani aluminijski silikat, a ako su tim parama došle još i pare kalija, postao je leucit  $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ .

Poput klornoga vodika i klorida djeluju na postajanje vještačkih minerala fluorovodik i fluoridi. Tako je na pr. *Sainte-Claire Deville* dobio cirkon  $\text{ZrO}_2 \cdot \text{SiO}_2$ , kad je pustio da kod visoke temperature prolazi struja silicijskoga fluorida preko cirkonova oksida ili struja cirkonova fluorida preko silicijskoga oksida. *Frémy* je dobio krasne rubine  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , koji se mogu upotrebljavati kao drago kamenje, te ni u čemu ne odstupaju prirodnim rubinima; u tu je svrhu izmiješao amorfni aluminijski oksid, komu je dodao nešto malo kalijevskoga karbonata, sa kalijevskim ili barijskim fluoridom i sa nešto malo kalijevskoga bikromata; tu je smjesu žario u poroznom lončiću, kroz koji je mogao da dolazi uzduh.

Vještački ili sintetički minerali, o kojima smo do sada govorili, stvarali su se sublimacijom ili međusobnim djelovanjem plinova i para. Mnoge minerale, naročito iz grupe silikata, možemo dobiti *kristalizacijom iz rastaljene tvari, iz taljevine*. Ako rastalimo na pr. bizmut, pa ga pustimo da se njegova taljevina ohladi, iskristalizovat će se u lijepim romboedrima. Iz taljevine, u kojoj se nalaze sastavni dijelovi olivina, može se iskristalizovati olivin  $(\text{MgFe})_2\text{SiO}_4$ . Jednako se tako mogu iz taljevine iskristalizovati još neki silikati, na pr. rompski pirokseni i augit, nefelin, leucit, anortit. Često se kod istaljivanja ruda u talionicama znadu stvarati silikati. Tako se na pr. u Zagrebačkoj Gori nalazi mnogo troske (zgure), koja potiče od nekadašnjega istaljivanja željeznih ruda. Troska je postala pri taljenju limonita uz pridodatak kremenca, pa se tako razvila kao olivinski mineral, fajalit  $(\text{FeMn})_2\text{SiO}_4$ , u kom se nalazi kao izomorfna smjesa manganski olivin, tefroit  $\text{Mn}_2\text{SiO}_4$ , jer je u limonitu bilo mangana.

Iz svakog rastaljenog minerala ne može se kristalizovati ponovice isti mineral. Iz rastaljenoga aluminijskoga oksida kristalizovat će se korund, ali iz rastaljene ortoklasove tvari ne će se više kristalizovati ortoklas, nego će tvar ostati u amorfnom stanju, ukrutit će se kao staklo. Ako rastalimo amfibol, iz njegove taljevine ne će se iskristalizovati amfibol nego augit.

Iz taljevina mogu da se razviju razni minerali ili bez sudjelovanja mineralnih podstrekača (agents minéralisateurs) ili samo uz njihovo sudjelovanje. Ako je taljevina sastavljena od kremične kiseline i nekih baza (metalnih oksida), naročito od  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , može se ohlađivanjem ili sva ili djelomično iskristalizovati u mješavinu raznih minerala tako, da ćemo dobiti čvrstu masu, koja će i po svome mineralnom sastavu i po svojoj strukturi biti posve jednaka kojoj efuzivnoj stijeni, na pr. bazaltu, augitnom andezitu, leucitnom tefritu i t. d. Iz pomenute taljevine razvijaju se naime razni minerali, koji su sastavni dijelovi nekih eruptivnih stijena. Tako će se moći da razviju različiti članovi iz grupe olivina i to forsterit  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ , fajalit  $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ , tefroit  $\text{Mn}_2\text{SiO}_4$ , olivin  $(\text{MgFe})_2\text{SiO}_4$ , monticelit

$\text{MgCaSiO}_4$ . Iz grupe piroksena najviše se razvijaju rompski pirokseni: enstatit  $\text{MgSiO}_3$  i hipersten  $\text{FeSiO}_3$ , a od monoklinskih: augit  $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ , volastonit  $\text{CaSiO}_3$ , rodonit  $\text{MnSiO}_3$  i dr. Na vještački način možemo dobiti iz pomenute taljevine još jedan kalcijski silikat sastava volastonitova; on se kristalizuje heksagonski, a takav mineral nije poznat u prirodi. Iz grupe glinenaca (feldšpata) kristalizuju se triklini glinenci: labrador, oligoklas i anortit  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ . Iz grupe melilita mogu se razviti melilit  $\text{Ca}_4\text{Si}_8\text{O}_{16}$  i gelenit  $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_{10}$ ; iz grupe leucita nefelin  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$  i leucit  $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ . Od oksida kristalizuje se tridimit  $\text{SiO}_2$ , spinel  $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ , ganit  $\text{ZnO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ , magnetit  $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ , hematit (željezni sjajnik)  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , korund  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Ako se u taljevini nalazila još i fosforna i titanska kiselina, pa sumpor, razvijaju se fosfati (apatit), titanati (perovskit  $\text{CaTiO}_3$ , titanit  $\text{CaTiSiO}_5$ ) i sulfidi, koji se nalaze redovito kao nebitni sastavci u raznim eruptivnim stijenama.

U troskama (zgurama), što postaju kod istaljivanja ruda u talionicama, nalaze se uz silikatne minerale i neki monosulfidi, na pr.  $\text{FeS}$ ,  $\text{MnS}$ ,  $\text{CaS}$ ,  $\text{MgS}$ ,  $\text{ZnS}$  i njihove izomorfne smjese. Od tih sulfida poznati su u prirodi pirotin  $\text{Fe}_n\text{S}_{n+1}$  i oldamit  $(\text{CaMg})\text{S}$ , koji se razvio kao sastavni dio nekih meteorita.

Iz taljevina, koje uz kremičnu kiselinu i baze sadrže još i vodene pare, zatim pare klorida, fluorida, bornih spojeva, mogu se razviti i oni minerali, koji se nikako ne razvijaju iz t. zv. suhih taljevina, t. j. iz taljevina, u kojima nema mineralnih podstrekača. Za razvitak tih minerala potrebni su mineralni podstrekači (agents minéralisateurs), a to su plinovite tvari, na pr. voda, klorni, fluorni i borni spojevi. Iz takvih taljevina razvijaju se na pr. kremen, tridimit, ortoklas i mikroklin  $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ , albit  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ , leucit, nefelin, cirkon, fenakit  $\text{Be}_2\text{SiO}_4$ , biotit  $(\text{KH})_2(\text{MgFe})_2(\text{AlFe})_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ , beril  $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$  (uz dodatak  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  dobije se smaragd, zelena vrsta berila), haijin  $3\text{NaAlSiO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4$ , muskovit  $\text{H}_2\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{12}$  i t. d.

*C. Doelter* je dobio magnezijski tinjac (liskun) iz taljevine, što ju je napravio iz amfibola ili augita, koji su sadržavali aluminijsku taljevina, te je tome dodao još natrijskoga ili magnezijskoga fluorida. Ako amfibol ili augit ne sadržavaju aluminijsku taljevina, kristalizuje se iz pomenute taljevine olivin, samo se mora taljevini dodati mnogo magnezijskoga fluorida. Taljenjem andaluzita  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$ , kalijevskoga, silicijskoga i aluminijskoga fluorida uspjelo je *Doelteru* dobiti muskovit, a uz dodatak taljevini litijevskoga oksida, uspjelo mu je dobiti litijski tinjac, koji je bio sličan cinvalditu  $\text{F}_2(\text{KLi})_3\text{FeAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{16}$ . *Duboin* je rastalio smjesu kalijevskoga i aluminijskoga fluorida, dodao joj kremične kiseline ili kalijevskoga silikofluorida, pa se iz te taljevine iskristalizovao leucit. Taljenjem alkalijskih fosfata sa silicijskim i aluminijskim oksidom i kojim fluoridom dobio je *Hautefeuille* kremen i ortoklas. *Mounier* je dobio lijepe oktaedre kromita  $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$  iz taljevine, koja je



sadržavala kalijski bikromat, željezni karbonat, željezni prah (piljevinu) i krijolit  $3\text{NaF} \cdot \text{AlF}_3$ ; ako je taljevina sadržavala magnezijski oksid, aluminijski klorid, aluminijski oksid i krijolit, razvili su se sitni oktaedri spinela, koji su uz mali pridodatak kromne kiseline bili blijedo crveni (balas-rubin); kad se u toj taljevini zamijenio magnezijski oksid cinkanim oksidom, razvio se je cinkani spinel, ganit; uklanjanjem aluminijskoga klorida iz smjese, kristalizovao se mjesto spinela korund. Iz taljevine, koja je bila sastavljena od kremične kiseline, kalijskoga karbonata i amonijskoga fluorida, dobio je *Meunier* silimanit  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$  i tridimit. *Ebelmen* je za dobivanje minerala iz taljevine za mineralnoga podstrekača uzimao bornu kiselinu i boraks. Sastavne dijelove pojedinih minerala izmijesao je sa rastaljenom bornom kiselinom i oni su se u njoj žarenjem otopili. Ako je ta smjesa bila izvrgnuta dulje vremena visokoj temperaturi, ishlapila je borna kiselina, a iskristalizovao se mineral one tvari, koja je bila u bornoj kiselini otopljen. Na taj način dobio je *Ebelmen* rutil, korund, minerale iz grupe spinela, hrizoberil, olivin i monoklinsku modifikaciju  $\text{MgSiO}_3$ , koja u prirodi kao mineral nije poznata.

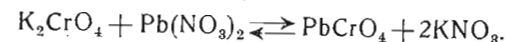
Mogu se razviti minerali vještačkim putem i onda, kada na čvrsto tijelo djeluje rastaljena masa: *L. Bourgeois* pustio je rastaljeni bazalt da djeluje na bijeli mramor i pri tom su se razvili kristali žuta augita i gelenita; djelujući labradoritom na mramor dobio je mejonit  $3\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \cdot \text{CaCO}_3$  i anortit.

Kako smo mogli dobiti vještačke minerale sublimacijom, medjusobnim djelovanjem plinova i para, iz rastaljene tvari, možemo ih dobiti i iz vodenih otopina. Više puta mogu se razviti minerali iz vodene otopine na taj način, da ishlapi ono topilo, koje je držalo mineralnu tvar u otopljenom stanju. Na taj način kristalizuju se iz otopine naročito one mineralne tvari, koje su u vodi lako topljive, na pr. kamena so, silvin, zelena i modra galica, gips, natrijska i kalijaska salitra i t. d. Neki su minerali lakše topljivi u vodi, koja ima ugljične kiseline, negoli u čistoj vodi; naročito se u vodi sa ugljičnom kiselinom otapaju karbonati. Iz takvih otopina, čim izadje topilo, kristalizuje se mineralna tvar više puta u kristalima, koji su veći negoli kristali iste tvari u prirodi. Iz otopine na pr. natrijskoga klorida kristalizovat će se kamena so, kad isparivanjem uklonimo vodu, koja je držala natrijski klorid u otopljenom stanju. Ako priredimo otopinu kalijskoga karbonata, na pr. na taj način, da oborimo kalijski karbonat djelovanjem amonijskoga karbonata  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  na kalijski klorid  $\text{CaCl}_2$ , pa taj svježe dobiveni karbonat stavimo u vodu, u koju uvodimo ugljičnu kiselinu  $\text{CO}_2$ , otopit će se kalijski karbonat kao kalijski kiselni karbonat  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ . Pustimo li sada otopinu kalijskoga kiseloga karbonata da stoji na zraku, isparivat će se voda, ali i ugljična kiselina, pa će kiselni kalijski karbonat prelaziti u neutralni, izlučivat će se iz otopine

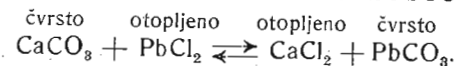
sitni osnovni romboedri kalcita  $\text{CaCO}_3$ . Želimo li da ugljična kiselina što brže izadje iz otopine, treba otopinu grijati; u tom će se slučaju opet izlučivati iz otopine neutralni kalijski karbonat, ali ne u romboedrijskim nego u rompskim kopljastim kristalima; iskristalizovat će se iz otopine aragonit, a ne kalcit. Ako se u otopini nalazi još koja druga tvar otopljen, na pr. kalijski ili natrijski silikat, iskristalizovat će se kalcit, ali ne u formi osnovnoga romboedra, nego u kristalima, koji su kombinacija raznih forma romboedrijske hemiedrije; bude li u otopini otopljen stroncijski olovni, barijski karbonat ili gips, razvit će se iz otopine kristali aragonita.

Iz vodene otopine možemo dobiti i kristale rumenice: ako se živin sulfid otopi u natrijskom sulfidu i ta otopina pusti da stoji duže vremena na zraku, kristalizovat će se rumenica u sićušnim kristalima. *Sainte-Claire Deville* dobio je iz pomenute otopine rumenicu na taj način, da je otopinu zatvorio u staklenu cijev i pustio je kroz dva ljetna mjeseca, da bude kod raznih temperatura. Tu se dakle razvio mineral ne isparivanjem topila nego djelovanjem temperaturnih promjena.

Do razvitka vještačkih minerala iz vodene otopine može doći vrlo lako medjusobnom kemijskom izmjenom otopljenih spojeva. Tako će se na pr. iz otopine olovnoga nitrata i kalijskoga kromata razviti olovni kromat u kristalima forme krokoita  $\text{PbCrO}_4$ :



*Dufet* je dobio laganom difuzijom otopine kalijskoga nitrata i dinatrijskoga arsenijata lijepo razvite kristale kalijskoga hidroarsenijata  $\text{CaHAsO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , koji su odgovarali formama farmakolita. *Becquerel* je dijalizom iz otopine barijskoga nitrata i natrijskoga sulfata dobio barit  $\text{BaSO}_4$ , iz otopine amonijskoga fluorida i kalijskoga klorida fluorit  $\text{CaF}_2$ , iz otopine bakarna nitrata i kalijskoga silikata jedan bakarni silikat sa vodom, koji vjerovatno odgovara dioptasu  $\text{H}_2\text{CuSiO}_4$ . *Becquerel* je obavljao pokuse ne samo kemijskom izmjenom između otopljenih tvari, nego i kemijskom izmjenom, koja se vrši između neke otopljene i čvrste tvari. Taj je proces sličan procesu, koji se vrši kod lagane difuzije razrijedenih otopina: djelovanjem otopine na čvrsto tijelo prelazi jedan dio čvrstoga tijela u otopinu, a otopljenoga u čvrsto stanje. Tako je *Becquerel* pustio da otopina olovnoga nitrata ili olovnoga klorida djeluje nekoliko mjeseci na krečnjak; pri tom se iskristalizovao olovni karbonat  $\text{PbCO}_3$  u formi cerusita;



Djelujući *Becquerel* otopinom bakarnoga nitrata na krečnjak dobio je najprije bazični bakarni nitrat, mineral gerhardt  $(\text{Cu} \cdot \text{OH})\text{NO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ ; kad je taj bazični nitrat stavio u otopinu natrijskoga bikarbonata, dobio je malahit  $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ . *Debray* je uz sličnu reakciju dobio azurit

$2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ ; on je stavio u zatvorenu posudu otopinu bakarna nitrata i komad krede ( $\text{CaCO}_3$ ), pa se je najprije stvorio gerhardit i kalcijski bikarbonat, iz čega se je konačno razvio azurit. Zanimljive su i pseudomorfoze malahita po kalcitu, koje postaju, kada otopina bakarna klorida djeluje na kalcit; pri tom se otapa kalcit, a na njegovo mjesto stupa malahit primajući formu kalcita. Becquerel je dobio brohantit  $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$ , djelujući kroz više mjeseci zasićenom otopinom modre galice na porozni krečnjak. Debray je dobio hajdingerit  $\text{HCaAsO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  djelujući uz običnu temperaturu suviškom arsenske kiseline na kalcijski karbonat; još je on dobio razne druge arsenijate i fosfate, kad je uz razne temperature djelovao na karbonate kalcija, magnezija, mangana i cinka arsenskom i fosforom kiselinom.

Djelujući nekom otopinom na minerale mogu se oni pretvoriti u druge minerale tako, da prime u svoj sastav koji sastavni dio iz otopine. Tako je J. W. Judd pretvorio plagioklas u skapolit (izomorfna smjesa  $\text{Na}_4\text{Al}_3\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{Cl}$  i  $\text{Ca}_4\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}$ ), kad ga je stavio u vodu, u kojoj je bio otopljen natrijski klorid.

Kadikad se mogu izlučiti iz vodenih otopina kristali raznih tvari djelovanjem električne struje, dakle *elektrolitički*. Ta struja može nastati, kad u otopinu nekoga elektrolita stavimo minerale, koji su dobri vodiči struje. Becquerel je tako dobio vivijanit  $\text{Fe}_3\text{P}_2\text{O}_8 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ , kada je jedan krak U-cijevi napunio modrom galicom i u otopinu stavio bakarni prutić, a u drugi krak ulio otopinu natrijskoga fosfata i u nju stavio željezni prutić: jednu je otopinu od druge odijelio slojem vlažne gline. Kad je spojio željezo sa bakrom, hvatali su se na površini željeza bijeli bradavičasti kristali, koji su, kao i vivijanit, na zraku odmah pomodrili.

Kuprit  $\text{Cu}_2\text{O}$  možemo dobiti, kada bakarni prutići stoje s jednom polovinom u otopini bakarnoga nitrata, a sa drugom polovinom u vodi; pri tom će se na prutiću, koji stoji u otopini bakarnoga nitrata, hvatati kristali bakarnoga oksida, koji pokazuje svojstva kuprita. Galenit  $\text{PbS}$  se razvija iz otopine magnezijkoga klorida, kada tu otopinu prelijemo preko živina sulfida, pa kroz obje te tvari provučemo olovnu pločicu; nakon nekoliko tjedana prekrit će se olovna pločica kristalima galenita.

Neki se vještački minerali mogu razviti iz otopine uz visoku temperaturu i tlak. Sénarmont je dobio elementarni bakar i srebro iz njihovih otopina, kad su sadržavale koju oksidacionu tvar i bile grijane kod temperature od  $115\text{--}250^\circ$ . Kada je talog arsenskoga sulfida stavio u staklenu cijev, tome dodao otopinu natrijskoga bikarbonata i to zatelio pa grijao do  $150^\circ$ ; arsenski se sulfid otopio i pri ohladjivanju iskristalizovao se kao realgar; na isti je način dobio iz antimonskoga sulfida antimonit, a iz bizmutskoga sulfida bizmutit. Sénarmont je dobio još čitav niz drugih sulfida na pr. sfalerit, galenit, pirit, halkopirit, arsenopirit, pirargirit, alabandin, hauerit i t. d.

Od oksida, koji se razvijaju iz otopine kod visoke temperature i tlaka, možemo dobiti kremen, tridimit, rutil, hematit, titanit, korund, dijaspor, brucit i t. d. Sénarmont je priredio kremen iz otopine hladetinaste kremične kiseline, koju je stavio u vodu, gdje je bilo ugljične kiseline, pa to žario u zatvorenoj posudi kod  $200\text{--}300^\circ$ . Daubrée je dobio kremen (uz augit i jedan zeolitski mineral) djelovanjem vodene pare na staklo kod temperature od  $400\text{--}500^\circ$ . Kad su Friedel i Sarasin žarili u zatvorenoj cijevi do temperature, gdje je počelo crveno usijanje, hladetinastu kremičnu kiselinu sa alkalijskim otopinama, razvio se tridimit; ako je temperatura bila nešto niža, razvio se kremen. Sénarmont je priredio rutil, žareći kod temperature od  $200^\circ$  talog amorfnooga  $\text{TiO}_2$  sa vodom, koja je bila zasićena ugljičnom kiselinom.

Uz visoku temperaturu i tlak priredjeni su vještačkim putem i neki haloidi, naročito fluorit, koga je priredio Sénarmont žareći u zatvorenoj staklenoj cijevi kod temperature od  $260^\circ$  kroz 60 sati svježe oboreni hladetinasti talog kalcijkoga fluorida sa otopinom natrijskoga bikarbonata. Jednako se tako mogu dobiti neki karbonati, na pr. siderit, rodohrozit, magnezit, dolomit, viterit i t. d. Sénarmont je dobio na pr. siderit žarenjem željezne galice, natrijskoga karbonata i vode kod temperature od  $150^\circ$  ili žarenjem željeznoga klorida sa komadićem kalcita kod temperature od  $130\text{--}200^\circ$ ; na isti je način dobio iz manganskoga klorida, natrijskoga karbonata ili kalcita rodohrozit, iz cinkana klorida i kalcita smitsonit, a iz otopine magnezijkoga sulfata i natrijskoga karbonata magnezit. Fovre i Mariñac dobili su dolomit žarenjem vapnenca u otopini magnezijkoga klorida kod temperature od  $200^\circ$  (uz dolomit razvio se i magnezit). Od borata dobio je Gramont boracit  $\text{Mg}_3\text{B}_3\text{O}_{10}\text{Cl}_2$  žareći kroz tri dana u zatvorenoj cijevi jedan dio natrijskoga borata sa dva dijela magnezijkoga klorida i nešto malo vode kod temperature od  $275\text{--}280^\circ$ ; uz amorfni magnezijski borat razvili su se i sitni kristali boracita. Od sulfata priredio je Sénarmont barit na taj način, da je uzeo svježe oboreni barijski sulfat, izmiješao ga sa otopinom natrijskoga bikarbonata i sa razrijedjenom soom kiselinom, pa to žario 60 sati kod temperature od  $250^\circ$ ; pri tom su se razvili mikroskopsko sitni kristali barita. Od fosfata i arsenijata uspjelo je Debray-u prirediti apatit žarenjem kalcijkoga kiseloga fosfata u otopini natrijskoga klorida kod temperature od  $250^\circ$  i piromorfit iz vlažne smjese olovnoga kiseloga fosfata i olovnoga klorida. Od silikata dobili su iz vodene otopine kod visoke temperature i tlaka ortoklas, adular, albit, anortit, analcim, biotit, muskovit, amfibol, apofilit, leucit, sodalit, nefelin, natrolit, skolecit i t. d. Friedel i Sarasin dobili su ortoklas iz smjese kalijskoga silikata, aluminij-skoga silikata i vode žareći tu smjesu u željeznoj cijevi obloženoj platinom kroz 36 sati kod temperature crvenoga žara. Doelter je priredio muskovit žareći kroz više nedjelja kod temperature od  $250^\circ$  pločaste kristale andaluzita

sa kalijским karbonatom i kalijским fluoridom. Djelovanjem natrijskoga hidrata i natrijskoga klorida na muskovit u zatvorenoj cijevi kod temperature od 500° dobili su *Ch.* i *G. Friedel* kristale sodalita, a bez natrijskoga klorida nefelin; uz iste prilike djelovanjem kalcijškoga oksida i klorida na tinjac (liskun) razvijaju se kristali anortita.

Ima slučajeva, da možemo prirediti vještačke minerale *djelovanjem samo tlaka* na čvrste tvari, a ne otopljene. Tako se na pr. iz smjese živina klorida i bakarnoga trunja (piljevine) uz tlak od 5000 atmosfera razvija bakarni klorid i živa. Iz smjese barijskoga sulfata i natrijskoga karbonata u omjeru 1:3 razvija se uz tlak od 6000 atmosfera viterit  $\text{BaCO}_3$  i to tako, da se nakon 11 dana tlačenja razvije od barijskoga sulfata 11% barijskoga karbonata. Iz srebra i sumpora može djelovanjem tlaka da se razvije argentit, a iz olova i sumpora galenit.<sup>1)</sup>

#### IV. POSTAJANJE MINERALA ILI MINEROGENIJA.

**125. Iz okoline, u kojoj se mineral nalazi, možemo zaključiti, na koji je način postao.** Kazali smo, da minerali nisu oduvijek, da imaju svoj početak, svoj razvitak i svoj svršetak (5). Ali na koji je način neki mineral postao, nije uvijek lako odgovoriti. Poteškoća je u tom, što ne možemo pratiti postanak i razvitak minerala u prirodi, kako ga možemo pratiti, primjerice, kod bilja i životinja. Minerali, s kojima se susrećemo u prirodi, davno su postali i mi ih posmatramo, kao nešto već *gotovo* nastojeći zaći u tajne njihova postajanja. Nalaze se u kori Zemljinoj, gdje izgradjuju razne stijene (1), koje su postale u davno geološko doba, ili su se sabrale po pukotinama stijena, i opet u davno geološko doba, pa kako da znamo, otkuda su i uz koje su se fizičko-kemijske prilike razvijali, uz koje su prilike prešli iz tekućega stanja u čvrsto?

Ipak čovjek nastoji ući u trag i toj tajni, pokušava sam stvoriti minerale iz raznih tvari proučavajući pri tom one fizičko-kemijske prilike, uz koje se u njegovu laboratoriju mineral razvija. To je *vještačko stvaranje minerala* ili *sinteza*, o čemu smo u predjašnjem poglavlju (124) govorili. Vidjeli smo, da je čovjeku doista pošlo za rukom da sintetičkim putem dobije čitav niz minerala, koji se po svojim svojstvima ni u čemu ne razlikuju od minerala, koji su postali u prirodi. Pri tom vještačkom, sintetičkom stvaranju minerala saznao je čovjek neke zakone, po kojima se minerali razvijaju, pa je te zakone primijenio na stvaranje minerala u prirodi.

Nešto o načinu postajanja minerala saznajemo i iz onih procesa, uz koje istaljujemo razne rude u talionicama; pri tim procesima stvaraju se neki kemijski spojevi, koji su po svojim osobinama jednaki nekim mineralima u prirodi (124); u talionicama postaju dakle sintetički minerali, pa po načinu njihova postajanja zaključujemo na način postajanja jednakih minerala u prirodi.

Ima slučajeva, gdje možemo i u samoj prirodi pratiti postajanje nekih minerala pa tako saznajemo, na koji su način postali. Tako se na pr. oko nekih vrela, oko vodopada, po pećinama, gdje curi i kaplje voda, izlučuju iz vodene otopine razni minerali, naročito kalcit, a iz lava, što ih izbacuju

<sup>1)</sup> *R. Brauns*: Chemische Mineralogie, pag. 227. Mnogo podataka o načinu dobivanja minerala vještačkim putem nalazimo u djelu C. Doelter: Handbuch der Mineralchemie, koje je počelo izlaziti god. 1912. Do sada je izašao I. dio; od II. dijela 1. i 2. svezak; od III. dijela 1. i 2. svezak; od IV. dijela 1—640 stranica. — H. E. Boeke und W. Eitel: Grundlagen der physikalisch-chemischen Petrographie; zweite Auflage. Naše podatke crpali smo naročito iz pomenutoga Braunsoyoga djela.

današnji vulkani, kristalizuje se augit, leucit, olivin, granat, plagioklasi, magnetit i t. d. Kod minerala dakle, koji su postali na taj način, lako saznajemo njihovo porijeklo, možemo lako suditi; da li su postali iz rastaljene tvari, iz plina (gasa) ili pare ili iz vodene otopine.

Ali kako da znamo, kako su postali oni minerali, koji se nalaze kao sastavni dijelovi kore Zemljine već od davnih davnina? Kako da odgovorimo na to pitanje, kad jedna te ista mineralna vrsta može da postane iz rastaljene tvari (iz magme), sublimacijom iz plinova i para, te iz vodene otopine. Posmatrajući ga sama za sebe, nikako ne možemo kazati, kojega je porijekla, kako je postao.

Da saznamo njegovo porijeklo, moramo saznati najprije okolinu, u kojoj se nalazi, pa ćemo iz te okoline moći zaključiti na njegovo porijeklo i na one prilike, koje su vladale za njegova razvitka. Moramo dakle saznati, u kakvom se mineralnom društvu nalazi, da li je stariji ili mlađi od svoje okoline ili je s njom iste dobe. Svu tu okolinu, sve te prilike, iz kojih saznajemo, kako je mineral postao, zovemo *paragenezom*;<sup>1)</sup> kad znamo paragenezu minerala, znamo i njegovo postajanje.

Paragenetske prilike ili parageneza nekoga minerala može da bude vrlo različita. Možemo to posmatrati na pr. na hematitu  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Po pukotinama i šupljinama vezuvske lave nalazimo vrlo često lijepe kristale hematita, koji dolazi u društvu drugih minerala, koji su postali sublimacijom; način, kako se pojavljuje vezuvski hematit, okolina, u kojoj se nalazi, nesumnjivo govori, da je postao *sublimacijom*. U eruptivnim stijenama, dakle u stijenama, koje su postale iz magme, na pr. u nekim trahitima, sijenitima, andezitima, bazaltima, razvio se uz ostale mineralne sastavke i hematit; ta okolina dakle, u kojoj se nalazi hematit, govori nesumnjivo, da je on postao *iz rastaljene tvari, kristalizacijom iz magme*. U karnalitu  $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , koji je postao kristalizacijom iz morske vode, nailazimo kadšto i na heksagonske listiće kao krv crvena hematita; iz okoline, u kojoj se nalazi, nije teško zaključiti, da se taj hematit razvio iz *vodene otopine*. Kod nas u Bosni razvio se hematit u velikoj količini kod Vareša; gdje gdje se u vareškom hematitu nalazi amonitnih okamina, kakovih obično nalazimo u krečnjacima; iz paragenetskih odnosa toga hematita zaključujemo, da je postao *kemijskom izmjenom iz krečnjaka*. U Gorskom Kotaru u okolici Mrzle Vodice pojavljuje se znatna količina hematita; no on se tu nalazi samo u dijelovima, koji su na površini i blizu površine; kako zalazimo dublje u njegovo ležište, prestaje hematit, a pojavljuje se pirit; iz paragenetskih odnosa toga hematita zaključujemo, da je postao *oksidacijom iz piritu*. Tako bismo mogli navesti nekoliko primjera, gdje nam paragenetski odnosi razjašnjaju postanak minerala, koji može biti vrlo različit.

<sup>1)</sup> Od grč. *pará* i *genesis*, postanak.

**126. Postanak minerala nije ništa drugo nego niz fizičko-kemijskih procesa.** Postajanje minerala očituje se kao niz fizičko-kemijskih procesa, uz koje se atomi pojedinih elemenata svrstavaju u atomsku mrežu, stvaraju strukturu minerala, o kojoj zavise sva njegova svojstva (36). Pri tom postajanju nalazi se mineralna tvar *u otopini*, iz koje prelazi kristalizacijom ili izlučivanjem u čvrsto tijelo, u mineral. A te otopine mogu biti različite; jednom su one *taljevine otopine (taljevina)*, jednom *plinovite otopine*, a jednom *vodene otopine*. Dakako, u tim se otopinama nalaze otopljene razne tvari, razni kemijski spojevi; to su uvijek smjese raznih tvari, koje su jedne u drugima otopljene tako, da ne možemo reći, što je u otopini topilo, što otopljena tvar. Kako se u otopinama nalaze smjese raznih tvari, to se iz njih mogu razviti i različiti minerali, čim samo nadodju za kristalizaciju ili za izlučivanje otopljenih tvari povoljne prilike. Izvjesne sile: termijske (toplina), mehaničke (tlak) i kemijske (koncentracija tvari u otopini i priroda otopine) drže otopljene tvari u ravnoteži, pa dok traje ravnoteža, dotle su i tvari u otopini; no promjenom samo jedne sile, ili termijske ili mehaničke ili kemijske, poremeti se ravnoteža i otopljene tvari počinju se izlučivati, kristalizovati; koje će se tvari izlučiti i kako će se izlučiti, zavisi samo o temperaturi, tlaku, te o koncentraciji i prirodi otopine, t. j. o fizičko-kemijskim prilikama, u kojima se nalazi otopina.

Kako djeluje promjena temperature na izlučivanje minerala, neka pokaže ovaj primjer:

U zalivima Kaspijskoga Mora, koji sadrže vodene otopine različitih soli, izlučuje se ljeti, kad je znatna temperatura, iz tih otopina kamena so  $\text{NaCl}$  i gorka so  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , a zimi, kad je temperatura niska, izlučuje se iz istih otopina glauberova so  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  i tenardit  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , dok magnezijске soli i natrijski klorid, koji su se ljeti izlučivali, ostaju zimi u otopini; na prelazu između ljeta u zimu i zime u ljeto, izlučuje se natrijska i magnezijška so kao dvoso, kao mineral astrakanit  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ .

Djelovanje tlaka na razvitak minerala neka pokaže ovaj primjer:

Željezni sulfid  $\text{FeS}_2$  pojavljuje se u prirodi kao markazit i kao pirit; no u formi markazita može se razviti samo onda, ako je tlak (i temperatura) pri razvitku  $\text{FeS}_2$  dosta malen; markazit se dakle ne može nikada razviti u dubinskom stijenju, koje je postalo u dubinama Zemlje kristalizacijom magme uz veliki tlak i visoku temperaturu; u takvom stijenju razvio se  $\text{FeS}_2$  uvijek kao pirit.

Kako utiču kemijske sile (koncentracija različitih tvari u otopini i priroda otopine), razabiramo iz ovoga primjera:

Iz čiste vodene otopine kalcijevoga sulfata kristalizuje se kalcijev sulfat sa dvije molekule vode, dakle kao gips  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ; ako se uz

kalcijski sulfat nalazi još i zasićena otopina natrijskoga i kalijuskoga klorida, kristalizovat će se kalcijski sulfat bez vode; iz čiste otopine magnezijuskoga sulfata, kristalizuje se pri isparivanju kod niže temperature epsomit  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ; ali ako smo toj otopini dodali još magnezijuskoga klorida, kristalizuje se magnezijuski sulfat kao kizerit  $MgSO_4 \cdot H_2O$ ; iz čiste otopine natrijskoga sulfata kristalizuje se kod obične temperature natrijski sulfat kao glauberova so  $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ ; čim smo toj otopini dodali natrijskoga klorida, kristalizuje se natrijski sulfat kao tenardit  $Na_2SO_4$ .

Minerali se razvijaju, kazali smo, iz otopina, pa kako su te otopine trojake, taljevinske, plinovite i vodene, tako je i postanak minerala trojak; mineral se naime može razviti iz taljevinskih, iz plinovitih i vodenih otopina.

**127. Minerali se razvijaju iz taljevinskih otopina; pirogenetski minerali.** Iz dalekih i nepoznatih dubina naše Zemlje dopire na površinu kroz ždrijela vulkana<sup>1)</sup> užarena rastaljena tvar, znak, da se u unutrašnjosti Zemljinoj nalaze neki njeni dijelovi, koji su žitki, rastaljeni. Tu žitku rastaljenu nutrinu Zemljinu zovemo *magmom*<sup>2)</sup> ili, kad provali na površinu Zemlje, *lavom*<sup>3)</sup>. Magma je kolijevka svih tvari, koje izgrađuju koru Zemljinu, kolijevka je svih do danas poznatih kemijskih elemenata; iz magme su se razvili prvi minerali, prve stijene, koje su postale ishodište daljnega razvitka minerala.

Magma je dakle rastaljena tvar Zemljina, rastaljeni minerali, rastaljene stijene. Sastavljena je pretežito od kremične kiseline  $SiO_2$  i baza (kovinskih oksida:  $Al_2O_3, Fe_2O_3, FeO, MgO, CaO, Na_2O, K_2O$  i t. d.), koje su sa tom kiselinom vezane u silikate tako, da je magma u glavnom silikatna taljevina. U njoj se još nalaze neki sulfidi, kloridi, fluoridi, plinovi i pare, naročito vodene i sumporne pare, ugljična, sona, sumporasta, borna kiselina, sumporni i fluorni vodik, slobodni klor, vodik, kisik i dušik, neki ugljikovi vodici i t. d. Sve su te tvari jedne u drugima otopljene i to u vrlo različitim omjerima tako, da magma predstavlja smjesu različitih otopina.

Dok se magma nalazi negdje u nutrini Zemlje, gdje vlada visoka temperatura i golemi tlak, ona je u rastaljenom stanju, ona je taljevina, gdje su, kako rekosmo, sve njene tvari jedne u drugima otopljene stvarajući taljevinsku otopinu, koja je potpuno *homogena*. Kad se budi s kojega razloga krene magma iz dalekih dubina prema površini Zemljinoj, da u zgodnom času provali kroz ždrijelo vulkana, popuste visoka temperatura i golemi tlak, koji su držali njene tvari u homogenoj taljevinskoj otopini i magma se počinje sve više kemijski mijenjati, gubeći ujedno svoju ho-

<sup>1)</sup> Od lat. *Vulcanus*, bog ognja.

<sup>2)</sup> Od grč. *magma*, tijesto.

<sup>3)</sup> Od lat. *lavare*, preplaviti.

mogenost. Čim je tlak popustio, izlaze iz magme plinovi i pare, koje je baš tlak silio, da budu u magmi, pa se već tim gubitkom plinova i para promijenila i koncentracija i kemijski sastav magme; homogenost se promijenila u toliko, što je sa padom temperature i tlaka započela u magmi kristalizacija pojedinih rastaljenih sastavnina, te kad izadje na površinu kao lava, nalazi se u njoj već kristala različitih minerala. U vezuvskoj na pr. lavi, što kao gusta tekućina, slična užarenoj smoli, teče kroz pukotine vulkana, nalazi se bezbroj leucitovih kristala, kako po njoj plivaju, a u lavi Etne ima već kristala augitovih, olivinovih i labradoritovih; no ima lava nekih drugih vulkana, koje su pri provali posve homogene otopine, pa se u njima dakle ne nalazi nikakvih iskristalizovanih minerala.

Kristalizacijom magme razvijaju se iz nje minerali, a do te će kristalizacije doći, kako smo rekli, čim padne temperatura i tlak, koji su držali sastavine magme u rastaljenom stanju. Ali na koji će se način izlučivati iz magme rastaljene tvari? Da li će njihovo izlučivanje, kristalizacija, stajati do njihova tališta tako, da će se minerali višega tališta započeti kristalizovati prije minerala nižega tališta? Moramo odmah istaknuti, da izlučivanje minerala iz magme nije zavisno o njihovu talištu, pa se baš minerali višega tališta počinju kristalizovati kasnije od minerala nižega tališta. Kremen na pr., koji se tali kod  $1600^\circ$ , kristalizuje se kasnije od enstatita, komu je talište kod  $1400^\circ$ . Kad bi magma bila taljevina samo jedne jedine kemijski čiste tvari i kad bi se nalazila pod običnim tlakom, dakako da bi kristalizacija te tvari, njezin prelaz iz tekućega stanja u čvrsto, bio zavisan o talištu. Ali magma se nalazi ne samo pod golemim tlakom, koji redovito povisuje talište, nego je mješavina vrlo različitih tvari; a znamo, da je talište neke smjese uvijek niže od tališta čistih komponenata, koje sastavljaju smjesu (116).

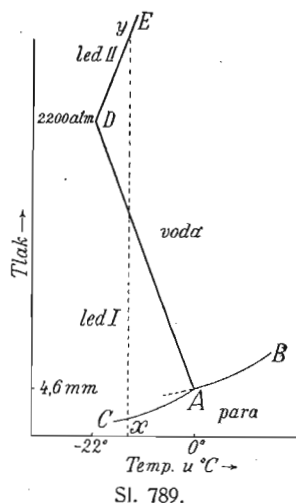
Tlak, pod kojim se nalazi magma, mora da je vrlo velik. Ako uzmemo, da je specifična težina stijena, koje omataju kao kameni plašt jezgru Zemljinu, 2,6—2,8, onda će iznositi tlak stijena u dubini od:

1 m . . . . .	0,26—	0,28 atmosfera
10 „ . . . . .	2,6 —	2,8 „
100 „ . . . . .	26 —	28 „
1 km . . . . .	260 —	280 „
10 „ . . . . .	2600 —	2800 „
20 „ . . . . .	5200 —	5600 „
40 „ . . . . .	10400 —	11200 „ i t. d. <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Dok Clarke računa debljinu kamene kore na 16 km, neki je računaju i na 70 km.

U dubinama Zemlje mora svakako da vlada golem tlak, pa se pod velikim tlakom nalazi i magma. A tlak utiče na talište tvari. Kod onih tvari, koje se taljenjem stežu (umanjuju obim), pada talište, kako raste tlak; a kod tvari, koje se taljenjem rastežu (uvećavaju obim), raste talište, kako raste tlak. Za vodu (led) znamo, da se taljenjem steže, da umanjuje svoj obim, a prelazeći u čvrsto stanje (u led), da se rasteže, da uvećava svoj obim; zato je i specifična težina vode u tekućem stanju veća ( $=1$ ) od specifične težine u čvrstom stanju ( $=0,9175$ ). Kad led tlačimo, pada mu talište i to za tlak od jedne atmosfere za  $0,0076^\circ$ . Led se dakle može taliti pod izvjesnim tlakom i ispod temperature svoga tališta, ispod temperature  $0^\circ$ .

Ako unesemo na apscisu (sl. 789.) vrijednosti za temperaturu, a na ordinatu vrijednosti za tlak, dobit ćemo dijagram (po R. Marcu), koji prikazuje promjene ravnoteže agregatnoga stanja vode pod uticajem tlaka i temperature. Voda se, kao svako drugo tijelo, isparuje; ima dakle neki tlak pare, koji je kod različite temperature različit tako, da svakoj temperaturi pripada izvjestan tlak pare, a svakom izvanjem tlaku pripada opet



izvjesna temperatura vrelišta vode. Ako spojimo crtom sve tlakove, koji odgovaraju različitim temperaturama, imat će ona formu crte AB. Ta crta čini granicu između predjela, u kojima se nalazi voda i para, i uz nju su oba agregatna stanja u ravnoteži. Kako i led isparuje, ima dakako i on tlak pare, koji za svaku temperaturu ima izvjesnu vrijednost; crta AC pri-

kazuje za led sve tlakove, koji odgovaraju različitim temperaturama; ona čini granicu između predjela, u kojima se nalazi led i para i uz nju je i led i para u ravnoteži. Na presjecištu obih crta, u tački A, tlak je pare, vode i leda jednak, t. j. u toj tački nalazi se u ravnoteži para, voda i led; tu se dodiruju predjeli, u kojima se nalaze pomenuta tri agregatna stanja vode. Tako je to kod temperature od  $+0,0076^\circ$  i kod živinoga tlaka od 4,6 mm. Povisimo li temperaturu, led će iščeznuti, snizimo li temperaturu, iščeznut će voda. Povisimo li tlak, iščezne para, a voda i led nalaze se u ravnoteži. Crte AD i DE pokazuju, kako povišenjem tlaka teče crta ravnoteže između vode i leda, t. j. kako se talište leda sa povišenjem tlaka snizuje; ona je nagnuta na lijevo i uz tlak od 2200 atmosfera palo je talište leda do  $-22^\circ$ . Pojačamo li tlak još više tako, da prijedje 2200 atmosfera, dolazi u ledu do pretvorbe slične pretvorbi aragonita u kalcit; led prelazi iznad pomenutoga tlaka u novu modifikaciju, koja se odlikuje tom osobinom, da joj se obim umanjuje tako, da ima manji obim od vode, a to znači, da će toj modifikaciji leda rasti talište, kako raste tlak; zato je crta ravnoteže DE između vode i leda nagnuta na desno.

Malo ima još tvari, koje se vladaju kao voda; takav je na pr. bizmut, kalcijski karbonat, arsenski trioksid i čisto željezo (dok obično željezo u rastaljenom stanju uvećava svoj obim).

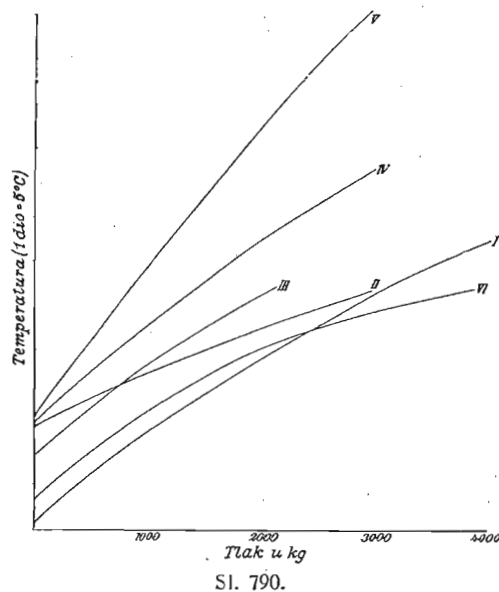
Većina tvari taljenjem se rastežu, a kad prelaze u čvrsto stanje (kristalizovano), stežu se; zato će i pretežiti dio minerala u rastaljenom stanju imati veći obim negoli u kristalizovanom, pa će im talište povišenjem tlaka poskočiti. Istraživanja su pokazala, na pr. da svi silikati u rastaljenom (amorfnom) stanju imaju specifičnu težinu manju negoli u kristalizovanom, t. j. obim im je veći, kad su rastaljeni, nego kad su kristalizovani. Kako koleba specifična težina minerala u kristalizovanom i amorfnom (rastaljenom) stanju, neka pokažu ovi primjeri:

MINERALI	Specifična težina	
	kristalizovana stanja	staklastoga stanja
Adular .....	2,561	2,351
Albit .....	2,604	2,041
Augit .....	3,267	2,803
Beril .....	2,655	2,41
Olivin .....	3,381	2,857
Labradorit .....	2,689	2,525
Spodumen .....	3,133	2,429
Kremen .....	2,663	2,228

Jednako se te promjene mogu odrediti i kod stijena, na pr.:

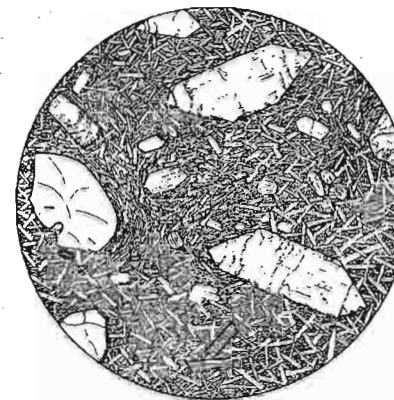
STIJENA	Specifična težina	
	prije taljenja	poslije taljenja
Granit od Cumberlanda..	2,656	2,446
Sijenit od Plauena .....	2,724	2,56
Tonalit sa New-Zealanda.	2,765	2,575
Dijorit od Markfielda....	2,880	2,710
Gabro od Carrock-Fella.	2,940	2,791
Rijolit od Antrina.....	2,460	2,375
Dolerit od Rowley-Raya..	2,8	2,64
Olivinski dolerit od Cleehil sa.....	2,889	2,775
Andezit sa New-Zealanda.	2,7	2,57

Kako raste talište sa povišenjem tlaka, neka pokaže dijagram (sl. 790.), do kojega je došao G. Tammann djelujući tlakom od 4000 atmosfera na cijanovodik (I.), mravinju (II.) i ocatnu kiselinu, (III.) acetofenon, (IV.) naftalin (V.) i na dimetil-etilni karbinol (VI.).



Nalazeći se dakle pod golemim tlakom, kakav vlada u dubinama Zemlje, imaju rastaljeni minerali i za nekoliko stotina stupnjeva više talište negoli uz običan tlak; u tim dubinama mogu se oni da kristalizuju

i kod one temperature, koja je daleko iznad njihova tališta, koje imaju na površini Zemlje. Zato magma, kad provali na površinu kao lava, nosi svu silu već gotovih kristala raznih minerala, koji su se iskristalizovali u dubinama Zemlje pod golemim tlakom i kod visoke temperature. Došavši na površinu, mogu ti minerali da ostanu u čvrstom stanju, ako je uz padanje tlaka pala i temperatura; ali ako je temperatura ostala viša od temperature njihova tališta, prelaze opet u tekuće stanje, jer je na površini tlak popustio. Neki minerali budu na taj način djelomično rastaljeni (magmatička korozija minerala), pa izgledaju zaobljenih i nagriženih kontura (sl. 791.), a neki se potpuno rastale (magmatička resorpcija minerala).

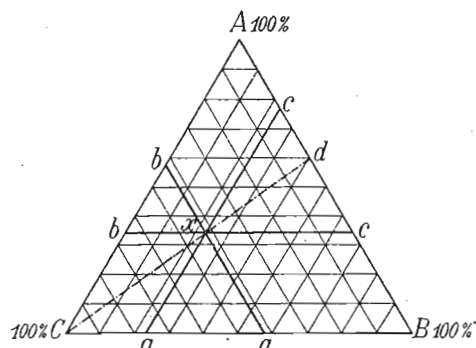


Sl. 791. Izbrusak bazalta od Kutjeva u Slavoniji sa korodiranim kristalima kremenca; posmatran pod mikroskopom.

Kristalizacija magme zavisi još, kako smo kazali, i o onom omjeru, u kom se nalaze rastaljene tvari među sobom izmiješane; zavisi o omjeru pojedinih komponenata. Kako teče kristalizacija taljevine, koja je sastavljena samo od dvije komponente, prikazano je na dijagramima sl. 758.—763. Ako se u smjesi nalaze više od dvije komponente, a magma predstavlja taljevinu baš od mnogo komponenata, tok je kristalizacije vrlo zamršen. Uz više komponenata talište se još više snizuje, kako se to razabira iz ovoga primjera:

Talište jedne komponente	Talište	
	binarnoga eutektika	ternarnoga eutektika
Bizmut 268°	Bizmut-olovo 127°	Bizmut-olovo- kositer 96°
Olovo 325°	Bizmut-kositer 133°	
Kositer 232°	Olovo-kositer 182°	

Kad želimo grafički pomoću dijagrama prikazati taljenje ili kristalizaciju smjese triju komponenata (ternarnoga sistema), služimo se istostraničnim trokutom (sl. 792.). Ako su ABC tri komponente smjese, onda uglovi (rogljevi) trokuta predstavljaju te tri čiste komponente; stranice trokuta prikazuju sastav binarnoga sistema od 0—100%, a svaka tačka u trokutu odgovara sastavu ternarnoga sistema tako, da je u svakoj tački, dakako, drugi sastav. Koncentraciju pojedine komponente u ternarnom sistemu naći ćemo, ako od te tačke povučemo crte paralelne stranicama

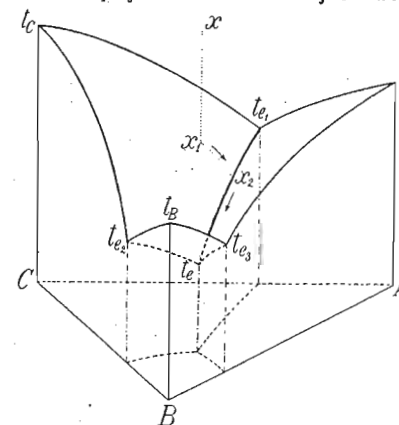


Sl. 792.

trokuta. Zbroj tih triju crta jednak je dužini stranice trokuta. Tako na pr. tačka  $x$  prikazuje ternarni sistem, u kom se nalazi  $xa$  procenata komponente A,  $xb$  procenata komponente B i  $xc$  procenata komponente C; svega 100%. Želimo li naći tačku  $x$ , unesemo na koju od stranica trokuta, na pr. na stranicu AB idući od B najprije relativne množine komponente A u ternarnom sistemu, dakle dužinu  $xa$ , koja je jednaka dužini  $Bc$ ; zatim ćemo unijeti relativne množine u ternarnom sistemu od komponente C, t. j. dužinu  $xc$ , koja je jednaka dužini  $cc$ ; ostaje još na stranici AB dužina  $ca$ , koja je jednaka dužini  $xb$ , a ta odgovara množini komponente B u ternarnom sistemu. Ako sada od obje tačke  $cc$  povučemo crte paralelne stranicama trokuta, dobit ćemo na njihovu presjecištu traženu tačku  $x$ . Crta povučena kroz tačku  $x$ , iz kojega god kuta (ugla) na suprotnu stranicu trokuta, na pr. crta  $Cd$  iz kuta C na stranicu AB, dijeli kut C nasuprot stranice AB u istom odnosu kao i pravac  $ab$ ; prema tome tačka  $d$  određuje tačno odnos komponenata binarnoga sistema AB preračunano na 100. Svaka crta povučena paralelno stranici trokuta geometrijsko je mjesto svih tačaka, u kojima je koncentracija jedne komponente i zbroj koncentracija drugih dviju komponenata stalan, dok su relativne koncentracije jedne i druge komponente promjenljive; tako je na pr. uz liniju  $ac$  kon-

centracija komponente B i zbroj koncentracija komponente A i C stalan, ali je zato odnos tih dviju komponenata od tačke  $a$ , gdje je  $A=0$ , do tačke  $c$ , gdje je  $C=0$ , promjenljiv.

Kad bismo htjeli grafički prikazati i promjene temperature te način kristalizacije, morali bismo uzeti još jednu, treću, dimenziju, pa bismo na taj način dobili istostraničnu trigonsku prizmu; nju ćemo dobiti, kad na stranice istostranična trokuta AB, BC, CA (sl. 793.) podignemo vertikalne ravnine. Najjednostavniji će način kristalizacije biti, ako sve tri komponente ne stvaraju medju sobom ni spojeva ni kristala mješanaca (izomorfni smjesa).



Sl. 793.

Tada dobivamo tri binarna sistema AB, BC, CA, koji su uneseni na plohe prizme svaki sa svojim eutektikom:  $te_3$ ,  $te_2$ ,  $te_1$ . Od  $tc$ ,  $ta$ ,  $tb$  prostiru se prema nutri prizme plohe, u kojima se taljevina kristalizuje; te se plohe sijeku u eutektičkim crtama  $te_1te$ ,  $te_2te$  i  $te_3te$ , koje se opet sijeku u tački  $te$ ; to je najniža tačka i ona je eutektikum za ternarne smjese. Tačka smjese  $x$  dopijeva padanjem temperature najprije do  $x_1$ , gdje dotiče plohu  $tcte_1tete_2$ . Tu počinje izlučivanje (kristalizacija) komponente C. Odatle se pomiče po toj plohi do  $x_2$ ; pritom ostaje u taljevini omjer A:B stalan. Od  $x_2$  pomiče se uz izlučivanje binarnoga eutektika  $e_1$ , niz crtu  $te_1 - te$  prema  $te$ . Tu je krajnja tačka linije izlučivanja i tu se sada kristalizuje uz konstantnu temperaturu ternarna eutektička smjesa, dok sva masa ne prijedje u kristalizovano stanje.

Još je od znatnoga uticaja na kristalizaciju magme njezin viskozitet ili unutarnje trenje. Što je taljevina viskozija, gušća, slabije je u njoj molekularno gibanje, a zbog toga su i difuziona strujanja, koja omogućuju rastenje kristala, vrlo polagana; ako je magma jako viskozna, može difuziono strujanje uopće da prestane, a u tom slučaju onda i ne dolazi do kristalizacije, nego se taljevina ščvrzne u staklo.



Dakako da je viskozitet magme zavisao o njenom kemijskom sastavu. Magme, koje su siromašne kremičnom kiselinom, a bogate željezom, vrlo su fluidne; takva je na pr. bazaltna magma, koja zna biti fluidna poput vode. Ako je u magmi mnogo kremične kiseline i aluminijskoga oksida, ona je vrlo viskozna. U onim magmama, koje imaju u sebi lako hlapljivih tvari, na pr. vodenih para, fluorovodika, bora, u kratko, ako se u njoj nalaze mineralni podstrekáči (agents minéralisateurs), pada viskozitet i one postaju fluidnije. Jednako tako na viskozitet magme utiče temperatura i tlak; padanjem temperature i povišenjem tlaka viskozitet raste.

O pomenutim eto fizičko-kemijskim prilikama zavisi kristalizacija magme. Pri toj se kristalizaciji razvijaju iz magme pojedini minerali nekom pravilnošću, nekim slijedom. Prvi je bio francuski mineralog *F. Fouqué*,<sup>1)</sup> koji je god. 1866., proučavajući lavu vulkana Santorina, našao tu pravilnost. On je opazio, da kristalizacija magme započinje sa najbazičnijim mineralima (a to su kovinski oksidi, sulfidi i kovinski hidroksidi ili minerali, u kojima ti spojevi prevladavaju), sa onim mineralima, koji imaju najmanje talište, a za tim slijede minerali sve kiseliji, t. j. minerali sa sve većom količinom kremične kiseline, dok se napokon, kao zadnji član kristalizacije, ne pojavi kremen, kao najkiseliji mineral, kao anhidrid čiste kremične kiseline. *Fouqué* je dakle konstatovao, da se kristalizacija santorinske lave razvija sa rastenjem aciditeta (kiselog kemijskog karaktera) i padanjem baziciteta (bazičnog kemijskog karaktera) tako, da je staklo santorinske lave, kao zadnji dio njenoga skrućivanja, uvijek kiselije od kristala početnoga stanja kristalizacije. Ovo, što je *Fouqué* našao kod santorinske lave, primijenio je znameniti njemački petrograf *H. Rosenbusch* uopće na kristalizaciju minerala iz magme i postavio je ovo općeno pravilo ili ovaj slijed kristalizacije:

1. Čim nadodju povoljne prilike za kristalizaciju magme, počinju se prvi kristalizovati fosfati, oksidi, sulfidi tako, da ćemo kao najstarije minerale naći u magmi apatit, hematit, magnetit, pirit, ilmenit, cirkon i t. d. To su oni minerali, koji su u eruptivnim stijenama gotovo redoviti sastavci, ali ih ima uvijek u maloj količini, te nisu bitni po mineralni sastav stijene.

2. Negdje pri kraju kristalizacije fosfata, oksida i sulfida započinje kristalizacija bazičnih silikata i to najprije magnezijjskih i željeznih silikata, te nešto kasnije magnezijjsko-kalcijskih silikata tako, da u tom stanju magmine kristalizacije nalazimo u njoj kristale olivina, biotita, amfibola i piroksena, sve minerale, koji su poradi znatne količine željeza tamnih boja, pa ih zato *Rosenbusch* zove „bojadisanim silikatima“. U ovoj grupi uvijek su ortosilikati (na pr. olivin) stariji od metasilikata (na pr. od piroksena).

3. Negdje pod kraj razvitka „bojadisanih silikata“ počinje se javljati kristalizacija kalcijskih, kalijjsko-kalcijskih i kalijjskih alumosilikata, da-

<sup>1)</sup> Santorin et ses éruptions. Paris 1879.

kako i tu na taj način, da se bazičniji alumosilikati izlučuju prije kiselijih. U tom stanju kristalizacije razvijaju se naročito glinenci (feldšpati); medju prvima se razvija kalcijski alumosilikat, anortit, kao najbazičniji član; za njim slijede kalcijsko-alkalijski glinenci, bitovnit, labradorit, andezin, oligoklas, albit i ortoklas, pa nefelin, leucit i t. d. Kako medju tim mineralima nalazimo malo njih, koji bi u svom sastavu imali željeza, od koga bi bili bojadisani, zove *Rosenbusch* tu grupu minerala „bezbojnim silikatima“, ma da medju njima ima po koji, gdje se pojavljuje željezo dajući mineralu crnu boju; takvi su minerali neki kalijjski pirokseni i amfiboli (egirin, ribekit i t. d.).

4. Kad su se već kovine ujedinile sa kremičnom kiselinom u razne silikate i alumosilikate, ostala je slobodna kremična kiselina, koja se, nemajući više s kim da se ujedinjava, kristalizuje sama kao kremen, kao anhidrid kremične kiseline  $\text{SiO}_2$ ; u tom konačnom stanju kristalizacije magme dogodi se kadšto, da njen najkiseliji ostatak ne dospije do kristalizacije, nego se skrutne kao amorfná masa, kao staklo.

U tako kiseloj magmi postaju bazični silikati, koji su se iskristalizovali, dok je magma bila još bazična, nepostojani, pa mogu da prijedju resorpcijom u taljevinu.

Slijed kristalizacije ne teče tako, da najprije dovrše svoju kristalizaciju članovi jedne grupe, pa tek onda da započinje kristalizacija članova druge, mlađe grupe; kristalizacija se razvija na taj način, da se negdje pri kraju razvitka jedne grupe pojavljuju u magmi pojedini individui članova mlađe grupe.

Od ovoga pravila kristalizacije odstupaju kadšto neki minerali, pa se na pr. u dijabazima i bazaltima kristalizuju bazični glinenci prije piroksena.

Pri skrućivanju magme razvijaju se minerali izvjesnim slijedom, a kad se magma skrutne, prešla je ona u *eruptivnu*<sup>1)</sup> *stijenu*. Takva je stijena izgradjena od vrlo različitih minerala, medju kojima svojom količinom prevladavaju silikati; zato su eruptivne stijene silikatne stijene.

Izuzetak čine karbonatiti, eruptivni krečnjaci, koje je proučavao norveški mineralog *Brögger*. U Telemarku u Norveškoj razvile su se neke eruptivne stijene bogate karbonatima čineći prelaz u gotovo čiste karbonatne stijene, u karbonatite (krečnjake). *Brögger* drži, da su to produkti mješavine kalijjsko-silikatnih magmi sa karbonatskim magmama. Karbonatske su magme postale taljenjem arhajskih krečnjaka, koji su se nalazili u velikim dubinama, gdje je vladala visoka temperatura i golemi tlak.

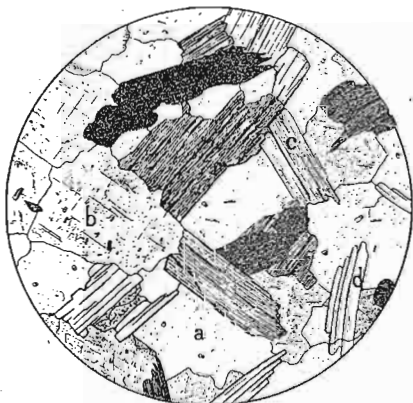
Minerali, od kojih je sastavljena eruptivna stijena, razvili su se u nekoj formi i u nekoj veličini; te odnose izmedju forme i veličine mineralnih

<sup>1)</sup> Od lat. *erumpere*, provaliti.

sastavaka neke stijene zovemo njenom *strukturuom*; na pr. ako su mineralni sastavci krupni i zrnasti, struktura je krupno zrnasta, ako su sitni i zrnasti, struktura je sitno zrnasta. Način, kako su se mineralni sastavci u stijeni medju sobom ispremiješali, kako su zapremili prostor, zovemo *teksturuom* stijene; na pr. kod nekog eruptivnog stijenja, gdje je lava za vrijeme kristalizacije tekla, poredali su se mineralni sastavci tako, da su zadržali smjer struje, pa se stijena razvila sa fluidalnom teksturuom (sl. 794.).

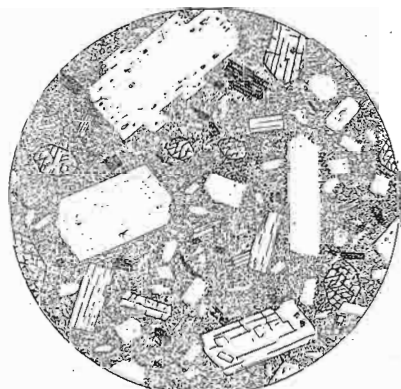


Sl. 794. Izbrusak liparita od Mozdjenca u Hrvatskoj posmatran pod mikroskopom. Fluidalna tekstura.



Sl. 795.

Izbrusak granita iz Moslavačke Gore posmatran pod mikroskopom; a i b alotriomorfní sastavci. Hipidiomorfná zrnasta struktura.



Sl. 796.

Izbrusak andezita sa Dudića posmatran pod mikroskopom; u osnovi leže idiomorfní utrusci. Porfirna struktura.

Forma je minerala, koji su se razvili kristalizacijom iz magme, različita; gdje su imali dovoljno prostora za svoj razvitak te su mogli nesmetano rasti, razvili su se u pravilnim kristalnim formama; takve pravilno razvite mineralne sastavke kamena zovemo *idiomorfnim<sup>1)</sup> sastavcima* (sl. 796.). Ako nisu imali dovoljno prostora za svoj razvitak, izrasli su u posvema nepravilnim formama, pa ih zovemo *alotriomorfnim<sup>2)</sup>* ili *ksenomorfnim<sup>3)</sup> sastavcima* (sl. 795.). Ima u eruptivnim stijenama i takvih mineralnih sastavaka, koji su spram jednih svojih susjednih mineralnih individua idiomorfni, a spram drugih *alotriomorfní* (sl. 795.); takve zovemo *hipidiomorfnima<sup>4)</sup>*.

Do kristalizacije minerala iz magme dolazi pri njoj erupciji. Erupcije su dvovrsne: ili su podzemne, kad magma provali iz nepoznatih dubina prema površini Zemlje, pa se negdje zaustavi u kamenoj kori, ne mogavši kroz nju da proдре; velimo, da je u tom slučaju došlo do *intruzije<sup>5)</sup> magme*; ili magmi uspije da pri svojoj provali probije kroz kamenu koru, pa se kao lava prelije po površini Zemlje; velimo, da je u tom slučaju došlo do *efuzije<sup>6)</sup> magme*. Jasno je, da su prilike, u koje je dospjela magma intruzijom i efuzijom, različite od onih prilika, u kojima se ona nalazila prije erupcije, a dabome da su drugačije i one prilike, u kojima se magma nalazi nakon intruzije od prilika, u kojima se nalazi nakon efuzije. Prije erupcije, dok je bila u velikim dubinama, nalazila se pod golemim tlakom i golemom temperaturom i to dvoje nije dopuštalo da dodje do kristalizacije. Ali kako je došlo do intruzije, promijenio se i tlak i temperatura; jedno i drugo je popustilo, nastupile su prilike povoljne za kristalizaciju i kristalizacija je počela onim slijedom, o kom smo malo čas govorili. Nalazeći se još uvijek u znatnim dubinama, djeluje na nju silan tlak okolnih stijena, u koje je provalila. Taj se tlak ne mijenja tako, da magma do kraja svoje kristalizacije ostaje pod konstantnim tlakom. Temperatura ne ostaje konstantna; ona polako pada i baš ovo polagano opadanje pogoduje kristalizaciji. *Konstantan tlak i lagano opadanje temperature dva su činioca, koji upravljaju kristalizacijom magme nakon intruzije.* Uz te činioce magma se vrlo polagano mijenja, kako se vrlo polagano mijenjaju i fizičko-kemijske prilike, u kojima se nalazi; postepeno pada temperatura (fizičke promjene), a postepenom kristalizacijom i polaganim gubitkom plinovitih tvari, mineralnih podstrekača (agents minéralisateurs), pretrpljuje kemijske promjene.

Uzmimo (po *Rosenbuschu*), da je došlo do intruzije granitske magme. U prvo doba kristalizacije izlučivat će se najprije apatit, cirkon i magnetit. Kako je u magmi još dovoljno prostora za rastenje kristala, izrast će po-

<sup>1)</sup> Od grč. *ídios*, svoj; <sup>2)</sup> od grč. *allótrios*, tuđ; <sup>3)</sup> od grč. *xénos*, tuđ.

<sup>4)</sup> Od grč. *hypó*, ispod.

<sup>5)</sup> Od lat. *intrudere*, provaliti unutra.

<sup>6)</sup> Od lat. *efusio*, izliv.

menuti minerali u vrlo lijepim kristalima, oštih kontura u formi iglica, stupača i sitnih oktaedara. Negdje pri kraju kristalizacije tih minerala, pojavljuju se po malo kristali biotita. Kako i oni imaju dovoljno prostora za svoj razvitak, izrastu u pravilnim heksagonskim pločicama, pa samo tamo, gdje se namjere jedan na drugoga, poremeti se njihova izvanja pravilnost. Pri kraju kristalizacije biotita počinje kristalizacija plagioklasa, koji se već češće namjere pri svome rastežu na biotitne individue, a i na svoje, pa tako imaju manje mjesta za pravilan razvitak kristalnih forma. Kasnije se javlja i kristalizacija ortoklasa; njegovi individui jedva da nadju mjesta, gdje bi nesmetano rasli. Na kraju kristalizacije magme razvija se kremen; on još može da zapremi samo onaj prostor, koji se nalazi slobodan između starijih minerala. Na taj se način magma potpuno iskristalizovala, prešavši u stijenu, koju zovemo *granit*. U granitu su se razvili kao mineralni sastavci apatit, cirkon, magnetit i biotit u idiomorfim, plagioklas i ortoklas u hipidiomorfim, a kremen u alotriomorfim individuima (sl. 795.). Za stijene sa mineralima ovakvih forma, velimo, da su zrnaste strukture, pa je zrnasta struktura, uopće karakteristična za intruzivne stijene. Kako je intruzivno stijenje sastavljeno samo od kristalizovanih minerala, zovemo ga *holokristalnim*.

Ali neka je ista ta granitska magma dospjela intruzijom u kamenu koru, pa tu ostala sve dok se u njoj nije razvio apatit, cirkon, magnetit, biotit, veći dio plagioklasa i nešto malo ortoklasa. U doba, kad se počeo kristalizovati i po koji kremenov individuum, došlo je ponovice do erupcije i to baš do efuzije; magma je provalila kroz kamenu koru, te se prelila po površini Zemlje. Izašla je na površinu kao tekuća lava, u kojoj se nalaze iskristalizovani individui apatita, cirkona, biotita, pa nešto malo individua plagioklasa i ortoklasa i tek po koji individuum kremen. Efuzijom dospjela je magma u nove prilike, u kojima se promijenio i tlak i temperatura; oboje je znatno popustilo. Zbog manjega tlaka izilaze iz magme vrlo lako plinovite tvari, mineralni podstrekači, magma postaje viskozija, pa kako je i temperatura pala, uvjeti su za kristalizaciju dosta nepovoljni. U tim novim prilikama nastavlja se u Zemlji započeta kristalizacija magme, pa se iz nje razvija ostatak plagioklasa, a brzo nastavlja sa svojom kristalizacijom ortoklas i kremen. Kad je na taj način dovršena potpuna kristalizacija, razvila se iz granitske magme stijena, koju zovemo *liparit*.<sup>1)</sup> Prirodna je posljedica razvitka liparita, da je sastavljen od dvije generacije minerala; jedni su se minerali razvijali, dok je magma bila u nutrini Zemlje (intratelurno<sup>2)</sup>), intratelurna perioda razvitka), a jedni poslije efuzije (efuzivna perioda razvitka). Minerali intratelurne periode idiomorfni su i znatnijih dimenzija; minerali efuzivne periode većinom su također idiomorfni, ali

<sup>1)</sup> Po Liparskim otocima.

<sup>2)</sup> Od lat. *intra*, unutra i *tellus*, Zemlja.

malih dimenzija. Kad takav kamen posmatramo, naročito pod mikroskopom, vidimo, kako među sitnim individuima druge generacije leže kao uklopljeni krupni individui prve generacije (sl. 796.); sitni individui efuzivne periode čine osnovu kamena, a u njoj leže kao *utrusci* krupni individui intratelurne periode. Za stijene koje su sastavljene od osnove i utrusaka velimo, da imaju *porfirnu*<sup>1)</sup> strukturu (sl. 796.) i ta je struktura karakteristična za efuzivne stijene.

Ako je i osnova efuzivne stijene potpuno iskristalizovana, stijena je *holokristalne porfirne strukture*. Dogodi se kod nekih efuzija, da se na površini Zemlje ne dospije sva magma iskristalizovati; ili temperatura naglo padne, ili je magma jako viskozna, pa se samo jedan njezin dio iskristalizuje, a drugi prijedje u staklo. U tom slučaju sastavljena je osnova od sitnih kristala i stakla i u osnovi leže kao utrusci kristali intratelurne periode. Može se dogoditi, da iza efuzije uopće ne dodje do kristalizacije, nego sva magma prijedje u staklo; onda imamo *staklastu osnovu*, u kojoj leže utrusci. Efuzivna stijena može dakle da je sastavljena od kristalizovanih minerala i od stakla, pa takove stijene zovemo *hipokristalnim* za razliku od holokristalnih.

Iz magme se mogu razviti različite stijene različita mineralna sastava, pa prema tome i različita kemijskoga sastava tako, da u njima koleba kremična kiselina SiO<sub>2</sub> između 80—34%; kod nekih, a te su rijetke, padne kremična kiselina i na 24%; gdje je došlo do razvitka samo magmatskih ruda (magnetita, kromita, ilmenita), pada SiO<sub>2</sub> skoro na 0%. S obzirom na količinu kremične kiseline neke su *eruptivne stijene kisele*; to su onakove stijene, koje imaju kremične kiseline više od 65%; u kojima kremična kiselina koleba između 65—52%, jesu *neutralne stijene*, a u kojima je kremične kiseline manje od 52%, jesu *bazične stijene*.

Ako istražujemo, od kojih su minerala sastavljene eruptivne stijene, naći ćemo, da u jednim prevladavaju minerali, koji su bogati alkalijama (i aluminijem), a siromašni kalcijem i magnezijem; u drugima je opet omjer obrnut, pa su se u njima razvili minerali, koji su bogati kalcijem i magnezijem, a siromašni alkalijama (i aluminijem). Prva grupa stvara *alkalijski niz*, druga *kalcijско-alkalijski niz* stijena. U alkalijskom nizu naći ćemo minerale iz familije leucita, nefelina, sodalita, pa ortoklas i albit, a u drugoj grupi pretežu kalcijски i kalcijско-alkalijski glinenci, plagioklasi. Zanimljivo je, da stijene jednoga i drugoga niza, kad se pojavljuju u prirodi, ne dolaze izmiješano, nego zastupnici svakoga niza zapremaju svoj zaseban petrografski kraj (provinciju) tako, da se u tom kraju nalaze ili samo članovi alkalijskih stijena ili samo članovi kalcijско-alkalijskih stijena. Postoji dakle između stijena, kako kaže američki petrograf J. P. Iddings,

<sup>1)</sup> Od grč. *porphyreos*, purpurna boja egipatske efuzivne stijene porfira.

kao neko „krvno srodstvo“ (consanguinity). *F. Becke* naziva alkalijsko stijenje „atlanskom svojtom“, a alkalijsko-kalcijsko „paciifičkom svojtom“. Eruptivne stijene Jugoslavije pripadaju zasebnoj petrografskoj provinciji, u kojoj su se razvili članovi „paciifičke svojte“.

Iskršava pitanje, kako to, da se iz rastaljene nutrine Zemljine, iz magme, razvijaju stijene različita mineralna sastava. Jer nema sumnje, da sve one potiču od jedne iskonske magme, pramagme. Misli se, da se magma ili *diferencijacijom* raspada u nekoliko magmatskih odvajanja, koji je svaki za sebe svoga kemijskoga sastava, ili se kemijski sastav magme promijeni *asimilacijom* tuđih tvari, s kojima pri erupciji dolazi u doticaj.

Do diferencijacije magme može doći, kad je još sva u tekućem stanju. Pri tom dolazi u njoj do *difuzije*, do strujanja, koja uzrokuju promjene u tvarnom sastavu magme. Cjelokupna magma nije dakle više homogena, rascijepala se, diferencirala u tvarno različite dijelove, od kojih su jedni sastavljeni iz specifički težih tvari, u kojima prevladavaju željezo i magnezij, dakle fero-magnezijski spojevi (ili femski<sup>1)</sup> spojevi), a drugi su sastavljeni iz specifički lakših tvari, u kojima prevladava kremična kiselina, alkalija i aluminij (ili salski<sup>2)</sup> spojevi). Nekad dakle jedna homogena magma raspala se u dvije, u bazičnu magmu sa femskim spojevima i u kiselu magmu sa salskim spojevima; između bazične i kisele magme ima različitih prelaza.

Misli se još, da može doći do diferencijacije magme, dok je ona još u potpuno tekućem stanju, t. zv. *likvacijom*<sup>3)</sup> i to na taj način, da pojedine komponente, koje se mogu među sobom miješati u homogenu otopinu samo pod vrlo velikim tlakom i vrlo visokom temperaturom, ne mogu više biti među sobom jedna u drugoj otopljeni, ako popusti tlak i temperatura, koji su ih držali u homogenoj otopini; popuštanjem tlaka raspadne se homogena pramagma u više magmatskih odvajanja, u kojima prevladavaju sad jedne, sad druge komponente, koje su u pramagmi stvarale jednu jedinu homogenu otopinu.

Raspadanje magme, dok je ona još sva u tekućem stanju, zovemo *magmatskom diferencijacijom*. Ali do diferencijacije magme može da dodje i onda, kad se ona nalazi već u stanju kristalizacije tako, da se u njoj nalazi čvrsta i tekuća faza. Ovu vrstu diferencijacije zovemo *kristalizacijskom diferencijacijom*. Ona se vrši na taj način, da kristali onih minerala, koji su se u prvom stadiju magme iskristalizovali, koji su dakle pretežito spojevi željeza i magnezija sa velikom specifičnom težinom, padaju djelovanjem gravitacije na dno magme; tu dospijevaju u visoku temperaturu te budu djelomice otopljeni, korodirani ili potpuno otopljeni (resorbirani). Na taj

<sup>1)</sup> Od početnih slova „fero-magnezijski“. <sup>2)</sup> Od početnih slova silicijska (kremična) kiselina, alkalija i aluminij.

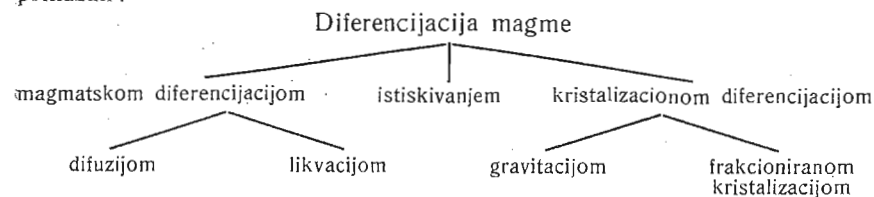
<sup>3)</sup> Od lat. *liquor*, tečem.

se način poremeti prvotna homogenost magme; u donjim dijelovima postane bogata željeznim i magnezijским (femskim) spojevima; tu je dakle bazična; u gornjim dijelovima okupili su se specifički lakši spojevi, kremična kiselina, alkalija i aluminij (salski spojevi); tu je dakle kisela; od jedne homogene magme postale su tako dvije: jedna bazična, jedna kisela. Dakako da tu ima raznih prelaza od bazične magme do kisele.

Osim gravitacije može uzrokovati kristalizacijsku diferencijaciju i *frakcionirana kristalizacija*. To se događa onda, kad magma prolazi u kamenu koru i tu se stane ohladjivati. Na granici između kamena i magme temperatura je najniža i tu počinje najprije kristalizacija, dakako sa najbazičnijim mineralima, u kojima su glavni sastavci željezo i magnezij. Na periferiji magme kristalizuju se tako bazični minerali, dok je u centralnim dijelovima sve još u tekućem stanju. Zbog izlučivanja bazičnih minerala postane magma na perifernim dijelovima siromašnija željezom i magnezijem, pa da se očuva ravnoteža između centralnih i perifernih dijelova, dolazi do difuzije tako, da iz centralnih dijelova pritiče prema periferiji sve više željeza i magnezija. Ovakav proces zahtijeva, da je magma u miru. Ali mogu ohladjeni dijelovi magme uslijed svoje veće specifične težine da se spuste sa periferije prema centralnim dijelovima, a iz centralnih dijelova da se difuzijom dignu vrući i specifično lakši dijelovi prema periferiji; na taj način dolazi do nehomogenosti nekad homogene magme.

Ima još i treći slučaj, kako dolazi do diferencijacije magme; to je *diferencijacija istiskivanjem*. Kad se magma već u velike iskristalizovala tako, da predstavlja kao neku spužvastu masu, koja potiče od iskristalizovanih dijelova, može se još neiskristalizovani, dakle tekući dio magme, djelovanjem gorskoga tlaka da istisne kroz spužvaste otvore. Na taj način dolazi kiselijem dio magme da sam za sebe, kao samostalna magma, bude ishodište kristalizacije minerala.

Pomenute načine diferencijacije magme mogli bismo ovako šematski prikazati:



Diferencijacija magme *asimilacijom* vrši se na taj način, da se dvije različite magme pri svojoj provali susretnu i pri tom se među sobom izmiješaju u jednu magmu. Dakako da će homogenost takve izmiješane magme zavisiti o kemijskoj prirodi i viskozitetu onih dviju magmi, koje su se sastale. Takvom asimilacijom pokušava *H. Rosenbusch* da razjasni

pojavu kremena (kvarca) u nekim bazaltima, koji su predstavnici vrlo bazičnih stijena, u kojima ne može biti kremen. Pa ipak ima negdje bazalta i sa kremenom, na pr. u našim krajevima na Lončarskom Visu kod Kutjeva u Slavoniji. *Rosenbusch* drži, da se takav bazalt razvio iz magme, koja je nastala asimilacijom dviju magma: jedne dacitne (kisele) i jedne bazaltne (bazične).

Do asimilacije dolazi još i na taj način, da magma otopi jedan dio kamena, s kojim dolazi u neposredan doticaj pri svojoj erupciji, pa se dakako na granici između magme i čvrsta kamena promijeni kemijski sastav magme. Kadikad mogu da u magmu pri provali dospiju čitave grmade tuđih stijena, koje ona također otopi i opet joj se na taj način promijeni kemijski sastav. Neki misle, da je moć otapanja magme tolika, da ona može na svom putu prolazeći kroz kamenu koru otopiti razne stijene i tako prokrčiti put i zapremiti veći prostor.

Diferencijacija magme zna da bude od goleme važnosti po razvitak nekih rudnih ležišta. Može se naime dogoditi, da se pri diferencijaciji neki minerali nagomilaju u tolikoj količini, da istisnu sve druge minerale. Naročito se pri diferencijaciji mogu izlučiti oksidne i sulfidne rude, na pr. magnetit  $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ , ilmenit  $\text{FeTiO}_3$ , kromit  $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$ , pirotin  $\text{FeS}$ , halkopirit  $\text{CuFeS}_2$  i t. d. U našim krajevima, osobito po Bosni i Srbiji, razvile su se sijne mase olivinskih eruptivnih stijena, peridotita i gabra. U peridotitima (ili u serpentinitima, koji su postali iz tih peridotita) nalazimo na mnogo mjesta velika ležišta kromita (na pr. u Južnoj Srbiji oko Alšara, u kumanovskom i skopskom kraju i dr.) a u gabrima (na pr. kod Jablanice u Hercegovini) ležišta magnetita sa halkopiritom. Ta su ležišta postala magmatskom diferencijacijom, nagomilavanjem kromita i magnetita u velikim količinama.

Minerale, koji su se razvili iz magme, zovemo *pirogenim*<sup>1)</sup> *mineralima*. Oni se redovito pojavljuju kao sastavci eruptivnih stijena i to najviše u sitnim individuima tako, da je za njihovo proučavanje potrebno prirediti od stijene tanušni izbrusak, pa optičkom metodom istražiti prirodu svakog pojedinoga minerala. Pirogeni minerali potiču iz dalekih dubina utrobe Zemljine, te su materijal, koji će služiti za razvitak različitih minerala, naročito onih, koji postaju iz vodenih otopina. Oni su u pravom smislu prvotni (primarni) minerali, kao što je i eruptivno stijenje u pravom smislu primarno stijenje; sve ostalo stijenje (kristalasti škriljci, sedimentno stijenje) vuče svoju lozu (što posredno, što neposredno od eruptivnoga stijenja, a prema tome i mnogi minerali, koji postaju iz vodenih otopina, vuku svoju lozu što posredno, što neposredno iz eruptivnoga stijenja. Kako eruptivno stijenje daje materijal za razvitak mnogih minerala, saznat ćemo, kad budemo govorili o preobražavanju minerala (130 i dalje).

<sup>1)</sup> Od grč. *pyr*, vatra i *genesis*, postanak.

Medju pirogenim mineralima ili mineralnim sastavcima eruptivnih stijena najobičniji su ovi:

1. Glinenci (feldšpati): ortoklas, mikroklin, anortoklas i albit-anortitna grupa plagioklasa.
2. Leucit-nefelinska grupa: leucit, nefelin, sodalit, nozean, haijin, kankrinit i uz njih još i melilit.
3. Piroksen-amfibolska grupa: rompski i monoklinski pirokseni, monoklinski amfiboli, pa još enigmatit i renit.
4. Grupa tinjaca (liskuna): biotit i lepidomelan, a u nekom naročitom eruptivnom stijenju još i muskovit, litionit i flogopit.
5. Izomorfna grupa olivinskih minerala.
6. Kremen.

Pomenuti minerali bitni su sastavci eruptivnih stijena. Kao nebitni minerali eruptivnih stijena pojavljuju se apatit, cirkon, magnetit, ilmenit, ortit, monacit, perovskit, melanit, pirop, granat, turmalin, topaz, tridimit, fluorit, eudijalit, katapleit, rozenbušit i t. d.

Po količini, u kojoj se nalaze pirogeni minerali u eruptivnim stijenama, ima po računanju *Clarke*-ovom:

Glinenaca.....	59,5%
Piroksena i amfibola.....	16,8%
Kremena.....	12,0%
Biotita.....	3,8%
Titanskih minerala.....	1,5%
Apatita.....	0,6%
	<hr/>
	94,2%

Još ostaje 5,8%, što otpada na olivin, na grupu leucit-nefelinsku i na ostale pomenute minerale.<sup>1)</sup>

**128. Minerali se razvijaju iz plinovitih otopina; pneumatogeni minerali.** Uz pretežitu količinu silikata i kremične kiseline, te uz nešto malo fosfata, oksida, sulfida, klorida i fluorida, koji se nalaze u nutrini Zemljinoj zbog velike temperature rastaljeni, nalaze se u toj taljevini (magni) otopljeni različiti plinovi (gasovi) i pare. Kad popusti tlak, a to se događa, kad magma provali iz nutrine prema površini, izlaze iz magme ti plinovi (gasovi i pare); uz erupciju magme dolazi do *ekshalacija*<sup>2)</sup> plinova i para. Te ekshalacije znaju trajati i onda, kad se vulkanska djelatnost smirila; one su kao zadnji trzaji vulkanske djelatnosti. Svagdje u okolini vulkana lako se namjerimo na ekshalacije.

<sup>1)</sup> *R. Marc*: Vorlesungen über die chem. Gleichgewichtslehre etc. Jena, 1911. — *G. Tammann*: Kristallisieren und Schmelzen. Leipzig 1903. — *C. Doelter*: Handbuch der Mineralchemie, Bd. I. pag. 628. — *R. Brauns*: Chemische Mineralogie. — *H. Rosenbusch* und *A. Osann*: Elemente der Gesteinslehre; vierte Auflage. — *H. E. Boeke* und *W. Eitel*: Grundlagen der physikalisch-chemischen Petrographie. — *Ф. Ю. Левинсон-Лессинг*: Успехи Петрографии в России. Петербург 1923.

<sup>2)</sup> Od lat. *ex*, iz i grč. *hals*, so.

Mjesta, gdje iz nutrine Zemljine sukljaju plinovi i pare, često velikom snagom, zovemo *fumarolama*<sup>1)</sup>; ako kod fumarola izlaze pretežito pare sumpora S, pa sumporni vodik H<sub>2</sub>S i sumporašta kiselina SO<sub>2</sub>, zovemo ih *solfatarama*<sup>2)</sup>; izlazi li iz njih pretežito ugljična kiselina CO<sub>2</sub>, zovemo ih *mofetama*<sup>3)</sup>.

Ako pri vulkanskim ekshalacijama izlaze uz ostale plinove i pare još i pare borne kiseline, zovu se takva mjesta *sofioni*.<sup>4)</sup>

Ekshalacije, koje se vrše pri efuziji magme, dakle na površini Zemlje i u okolini vulkana, zovemo *vulkanskim ekshalacijama*. Ali do ekshalacija dolazi i pri intruziji magme, dakle u kamenoj kori, u koju je prodrla magma; ekshalacije, koje se vrše u okolini intruzivne erupcije, u dubinama Zemlje, zovemo *plutonskim*<sup>5)</sup> *ekshalacijama*. Kadikad se znadu zapaliti naslage ugljena i gore neprestano kroz godine i godine razvijajući visoku temperaturu, koja uzrokuje ekshalacije raznih plinova i para; to su tako zvane *ekshalacije iz sedimentnih*<sup>6)</sup> *stijena*.

1. *Vulkanske ekshalacije i minerali, koji postaju pri tim ekshalacijama*. Da se u magmi nalaze doista velike količine raznih plinova, dokazuju kemijska istraživanja eruptivnih stijena i recentnih lava. A. Brun<sup>7)</sup> istražujući recentne lave mnogih vulkana, našao je, da one, kad se ugriju do temperature taljenja, razvijaju plinove, naročito sonu kiselinu HCl i slobodan klor Cl<sub>2</sub>, tolikom snagom, da dodje više puta do eksplozije. Navest ćemo nekoliko A. Brun-ovih analiza, koje pokazuju, koliko kubnih centimetara plina ima u jednom kilogramu skrtnute lave kod temperature od 0° i uz tlak od 760 mm žive (broj I.), težinu amonijskoga klorida NH<sub>4</sub>Cl i drugih klorida u miligramima (broj II.) i sastav plina (broj III.):

	I.		II.		III.									
	ccm plin.	NH <sub>4</sub> klorida	Cl <sub>2</sub>	HCl	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CO	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> i dr.	Svega			
1.	553	30	1000	—	2,65	81,08	9,6	1,21	3,01	2,40	99,95			
2.	266	13 <sup>5/10</sup>	243	12,8	2,0	4,5	60,2	11,47	1,60	0,5	6,93	100,00		
3.	374	20 <sup>4/10</sup>	5143	—	6,55	12,0	73,79	trag.	—	7,6	trag.	99,94		
4.	295	12	50	—	trag.	1,7	50,8	17,3	—	28,5	1,2	99,5		
5.	507	23	—	17,10	28,28	trag.	39,50	10,50	1,31	2,70	0,61	100,00		
6.	470	26	290	13,86	54,00	—	24,7	4,60	drugih plin.	2,8	—	99,96		
7.	216	4	50	—	40,32	—	15,43	—	—	44	25	100,00		
8.	398	10	—	7,22	60,46	—	15,87	9,60	—	6,03	0,82	100,00		

Pod 1. Lava Etne iz god. 1879.; žarena kod temperature od 600° do 650°. — Pod 2. Bazalt Stromboli-a; mineralni mu je sastav: labrador tipa Ab<sub>3</sub>An<sub>4</sub>, olivin, biotit i augit u velikim kristalima. — Pod 3. Lava Vezuva od erupcije iz god. 1906. sa Bosco tre Case. — Pod 4. Lava sa Kilauea na Havajskom otočju; tipa bazaltnoga, gotovo

1) Talijanska riječ od lat. *fūmus*, dim.

2) Talijanska riječ od lat. *sūlfur*, sumpor. 3) Talijanska riječ, *isparivanje*.

4) Od tal. *soffione*, mijeh, duvalo.

5) Od lat. *Plūto*, bog podzemlja. 6) Od lat. *sedimentum*, talog.

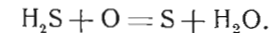
7) A. Brun: Recherches sur l'exhalaison volcanique. Genève-Paris, 1911. pag.

staklasta sa vrlo malo kristala. — Pod 5. Lava od Asame u centralnom Japanu. — Pod 6. Staklasti andezit sa Santorina; sadrži mnogo silicijskoga fluorida SiF<sub>4</sub>. — Pod 7. Crni opsidijan iz okoline Hekle na Islandu. — Pod 8. Crni opsidijan iz Yellowstone Park-a u Sjevernoj Americi; sadrži i kloride i silicijski fluorid.

Kod istraživanja lava našao je A. Brun ove plinove: dušik N<sub>2</sub>, amonijak NH<sub>3</sub>, sonu kiselinu HCl, ugljik C, ugljikove vodike HmCn, ugljikov monoksid CO, ugljikov dioksid CO<sub>2</sub>, sumpor S, sumporni vodik H<sub>2</sub>S, sumpornu kiselinu H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (u fumarolama i solfatarama), fluorovodik HF, silicijski fluorid SiF<sub>4</sub>, vodik H<sub>2</sub>, amonijski klorid NH<sub>4</sub>Cl, amonijski fluorid NH<sub>4</sub>F, kalijski klorid KCl, natrijski klorid NaCl, magnezijski klorid MgCl<sub>2</sub>, kalcijski klorid CaCl<sub>2</sub>, željezni klorid FeCl<sub>2</sub> (feroklorid), aluminijski klorid Al<sub>2</sub>Cl<sub>6</sub>. Osim tih plinova nalaze se kod vulkanskih ekshalacija borna kiselina H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, male količine joda, selena, argona, helija, spojevi arsena, fosfora i drugih elemenata.

Kad dospiju plinovi na površinu, gdje je niža temperatura, miješaju se medju sobom i tako dolazi medju njima do kemijskih reakcija, pri čemu postaju novi spojevi, koji se kao čvrsta tijela, kao minerali hvataju na hladnijim mjestima skrtnute lave ili po stijenama oko fumarola. Dakako da plinovi dolaze u doticaj i sa okolnim stijenama, gdje zalaze u kemijske reakcije sa mineralima, koji sastavljaju stijene i na taj ih način razaraju stvarajući od njihovih minerala nove kemijske spojeve, nove minerale; jednako se miješaju plinovi sa atmosferskim kisikom, gdje takodjer dolazi do kemijskih reakcija, pri čemu postaju novi spojevi, koji se obaraju po okolišnim stijenama kao minerali.

Kod vulkanskih ekshalacija mogu postati vrlo različiti minerali. Naročito se oko solfatara obara sublimacijom *sumpor*. Iz suhih fumarola, t. j. onih, u kojima nema vodenih para, izlaze uz ostale tvari i pare natrijskoga klorida, koje na zraku ili na hladnijim mjestima takodjer sublimiraju. Ipak velika većina minerala, što postaju pri vulkanskim ekshalacijama, nisu neposredni sublimacioni produkti, nego posljedica medjusobnih kemijskih reakcija. Tako na pr. može postati sumpor oksidacijom sumpornoga vodika, kad sumporni vodik dodje u doticaj sa kisikom uzduha:

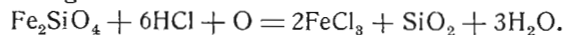


Prijašnje shvatanje, da se oko solfatara obara sumpor reakcijom između sumpornoga vodika H<sub>2</sub>S i sumporaste kiseline SO<sub>2</sub> pri čemu se stvara voda a oslobadja sumpor (2H<sub>2</sub>S + SO<sub>2</sub> = 3S + 2H<sub>2</sub>O), obara A. Brun na osnovi svojih opširnih istraživanja. Brun dokazuje, kako je nemoguće, da iz istoga kanala izilaze zajedno H<sub>2</sub>S i SO<sub>2</sub>. Po opažanjima na vulkanima na Javi i na Pico de Teyde (na Kanarskom otočju) zaključuje Brun, da je vrlo vjerovatno, da sumpor izlazi iz magme kao para ili kao submikroskopski prah u struji CO<sub>2</sub>. Ako se ta struja susretne sa vodom

ispod 100°, kondenziraju se sumporne pare u sumporno mlijeko. Ako je vode malo, kristalizuje se sumpor iz para uz temperaturu od 100—110° hvatajući se otvora solfatara. Uz još veću temperaturu (192—270°) sumpor se tali, procuri u stijene i tu se zapali. Na taj su način postala bogata sumporna ležišta u Japanu. Neka sumporna ležišta u našoj domovini takodjer su u vezi sa vulkanskim ekshalacijama; na pr. ležišta sumpora u okolini Kratova u Južnoj Srbiji, gdje je nekad došlo, u davno geološko doba, do grdnih vulkanskih erupcija, koje su izbacivale velike količine lave. Za trajanja vulkanske djelatnosti u okolini Kratova bilo je mnogo ekshalacija plinova i para tako, da su se tamo nalazile mnoge solfatara, koje su dale materijal za razvitak sumpora, što ga danas nalazimo u znatnim skladovima i žilama na jugozapadnoj strani Koriije i oko Vrle Drake u Povišnici kod Kratova. No postajanje sumpora u okolini solfatara možemo još i danas naći na sjeveru od Ohrida kod Kosela, gdje se nalazi živa solfatara, iz koje izlaze pare sumpornoga vodika, koji se na uzduhu oksidira i prelazi u sumpor, a taj se kao blijedo žuti prah obara u okolini tamošnje solfatara.

*Kloridi*, čiji je postanak vezan za vulkanske ekshalacije, sublimiraju najviše djelovanjem vrućih para sone kiseline HCl na minerale okolišnih stijena. Kao vruća para, koja izlazi iz lave ili se stvara pri kemijskim reakcijama između plinovitih klorida i vodene pare, zalazi sona kiseline u okolne stijene i razara njihove mineralne sastavke pretvarajući ih u kloride. Tim djelovanjem bude kamen razoren; baze silikata (metalni oksidi), koje su bile vezane za kremičnu kiselinu, vežu se za sonu kiselinu i prelaze u kloride, a ostaje kremična kiselina; kamen, koji je bio obično crne boje od minerala bogatih željezom, izbljedi, znak, da mu je sona kiselina pokupila sve željezo.

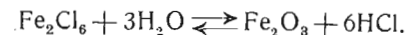
Tako će se iz željeznoga olivina, fjalita  $Fe_2SiO_4$ , razviti željezni klorid  $FeCl_3$ , kremična kiselina  $SiO_2$  i voda  $H_2O$  djelovanjem vrućih para HCl i atmosferskoga kisika:



Prema tome, koje su baze (metalni oksidi) u kamenu bile najraširenije, najrašireniji su i kloridi, koji će se u okolini toga kamena da razvijaju. Najviše se razvijaju pri tim procesima natrijski i kalijjski kloridi, gotovo redovito zajedno izmiješani. Po vezuvskoj lavi prevladava kalijjski klorid, jer je vezuvska lava bogata kalijjskim mineralima na pr. leucitom, a na lavi Santorina, u kojoj se nalaze minerali vrlo siromašni kalijem (u glinencima santorinskim ima kalija tek u tragovima), ne pojavljuje se uopće kalijjski klorid. Gdje u lavama ima dosta željeza, mogu se razviti minerali molizit  $FeCl_3 \cdot H_2O$ , kremerzit  $KCl \cdot NH_4Cl \cdot FeCl_3 \cdot H_2O$  i eritrosiderit  $2KCl \cdot FeCl_3 \cdot H_2O$ . Pošto je kalcij i magnezij jako raširen među mineralima, što sastavljaju eruptivne stijene, pa ih ima dakle i u lavama, to se djelo-

vanjem vrućih para sone kiseline može razviti klorokalцит  $CaCl_2$  i kloro-magnezit  $MgCl_2$ . Negdje se može naći kao produkt pri vulkanskim ekshalacijama skakit  $MnCl_2$ , kotunit  $PbCl_2$ , matlokit  $PbCl_2 \cdot PbO$ , atakamit  $Cu(OH)Cl$ ,  $Cu(OH)_2$ , aluminijjski klorid, pa kloridi kobalta, nikla, cinka i t. d.

*Oksidi* nisu direktni sublimacioni produkti, nego postaju pri kemijskim reakcijama između plinovitih klorida i vodenih para kod visoke temperature, pa onda sublimiraju. Na taj način zamjenjuje se klor sa kisikom i mjesto klorida pojavljuju se oksidi, a mjesto vode sona kiselina tako, da se pri tom postajanju oksida razvija velika količina sone kiseline, koja kao vruće pare djeluje na okolne minerale i pretvara ih, kako smo malo čašuli, u kloride. Među takvim sublimacionim produktima nalazimo vrlo često hematit (željezni sjajnik), na pr. po lavama Vezuva, Etne, u Auvergne-i i dr; tu se je on razvio u listićima i pločicama, više puta u znatnoj veličini, po ovoj šemi:

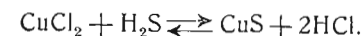


Kao sublimacioni produkt, koji postaje djelovanjem klorida i vrućih vodenih para, nalazi se u vezuvskoj lavi magnezioferit  $MgO \cdot Fe_2O_3$ , koji se tu razvio u sitnim, crnim, vrlo sjajnim oktaedrima, a pravilno je srašten sa pločicama željeznoga sjajnika. Pri pomenutim procesima nadje se ponekad i magnetita  $FeO \cdot Fe_2O_3$ , pa tenorita  $CuO$ , koji je postao iz bakarnoga klorida i vruće vodene pare; takvih tenorita nalazimo po vezuvskoj lavi u sivim i crnim triklinskim pločicama. Za sitne kristale periklasa  $MgO$ , koji se nalaze na Monte Somma na Vezuvu, moglo bi se takodjer uzeti, da su ojednaka postanka kao tamošnji željezni sjajnik i magnezioferit.

Kako iz klorida mogu postati oksidi, tako se mogu razviti oksidi i iz fluorida, kad pare fluorida dodju u doticaj sa vrućom vodenom parom kod visoke temperature. Na taj je način postao tridimit  $SiO_2$ , koji se nalazi po šupljinama raznoga efuzivnoga stijenja, na pr. u šupljinama trahita na brdu San Christóbal kod Pachuca u Meksiku. Pri toj se reakciji zamjenjuje fluor sa kisikom i mjesto fluorida pojavljuju se oksidi, a mjesto vode fluorovodik, koji zalazi u okolne stijene i tu stupa u reakcije sa mineralima stijené dajući materijal za razvitak novih minerala; reakcija teče ovako:

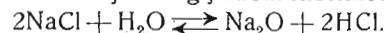


*Sulfidi* postaju pri vulkanskim ekshalacijama, analogno oksidima, djelovanjem para metalnih klorida na sumporni vodik. Pri tim reakcijama zamjenjuje se klor sa sumporom i mjesto klorida razvijaju se sulfidi, a mjesto sumpornoga vodika sona kiselina; tako će se na pr. iz para bakarnoga klorida  $CuCl_2$  i sumpornoga vodika  $H_2S$  kod visoke temperature razviti kovelin  $CuS$ :

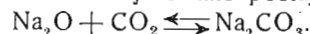


Po vezuvskoj lavi nadje se kadikad kovelina, koji je nesumnjivo produkt sublimacije. Iz olovnoga klorida  $PbCl_2$  i sumpornoga vodika može se razviti na pomenuti način galenit  $PbS$ . Realgar  $As_2S_2$  i auripigment  $As_2S_3$ , koji mogu da budu direktni produkti sublimacije, mogu po svoj prilici postati izmjenom arsenskih spojeva i sumpornoga vodika.

Ako su prilike povoljne, mogu se pri vulkanskim ekshalacijama razviti i poneki *karbonati*, na pr. karbonati natrija, kalcija i magnezija. Njihov je postanak vezan za neke reakcije. Najprije će se iz metalnih klorida razviti oksidi, koji će u doticaju sa ugljičnom kiselinom prijeći u karbonate:

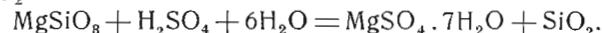


U doticaju ugljične kiseline ne može postojati natrijski oksid, nego stupa s njom u medjusobnu reakciju i tako postaje karbonat:



Kako se medju vulkanskim ekshalacijama nalazi redovito sone i sumporne kiseline rijetko će se karbonati ušćuvati; oni će prijeći ili u kloride ili u sulfate. Ipak se pokadšto nadje kalcijuskoga i magnezijuskoga karbonata, kako se kao sitan prah hvataju po stijenama oko fumarola.

Već negdje pri kraju vulkanske djelatnosti, kad se ona u glavnom stišala, izlaze još uvijek pare sumporovodika, sumporaste i sumporne kiseline. Sumporna kiselina  $H_2SO_4$  dolazi u doticaj sa mineralima stijena i žestoko ih otapa istiskavajući iz mnogih silikata kremičnu kiselinu stupajuću na njeno mjesto i na taj način dolazi do razvitka raznih *sulfata*. Iz magnezijuskih silikata, na pr. iz enstatita  $MgSiO_3$ , razvit će se magnezijuski sulfati, naročito gorka so  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ , a oslobodit će se kremična kiselina  $SiO_2$ :



Iz željeznih silikata postaju željezni sulfati, na pr. zelena galica  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ; kalcijuski silikati daju materijal za razvitak gipsa  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ; natrijski silikati za razvitak glauberove soli  $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ ; natrijski i kalijuski silikati za razvitak glazerita  $3K_2SO_4 \cdot Na_2SO_4$ ; iz alumosilikata može se razviti aluminijski sulfat keramohalit  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 16H_2O$  pa kalijuski ili amonijski alaun. Još su nadjeni u domašaju solfatara pikromerit  $MgSO_4 \cdot K_2SO_4 \cdot 6H_2O$ , maskanjn  $(NH_4)_2SO_4$ , cijanohroit  $CuSO_4 \cdot K_2SO_4 \cdot 6H_2O$ , hidrociijan  $CuSO_4$ .

Dakako da djelovanje sumporne kiseline na okolne stijene djeluje jednako razorno kao i djelovanje sone i fluorovodične kiseline. Uz njeno djelovanje silikatni minerali stijena gube sve više i više svoje baze, postaju bljedji i bljedji, dok napokon od kamena ne ostane ništa do li kremične kiseline. Kako su mnogi od pomenutih silikata u vodi lako topljivi, ispire ih voda iz kamena i kao otopinu nosi ih dalje.

Pošto iz fumarola izlaze i razni fluorni spojevi, jasno je, da ćemo oko fumarola naći i nekih *fluorida*, na pr. fluorita  $CaF_2$ , kriptohalita

$(NH_4)_2SiF_6$ , hijeratita  $K_2SiF_6$ , nocerina  $(MgCa)_3OF_4$ , u kome se nalazi primiješan u maloj količini  $Al_2F_6$ .

Gdje kod nekih vulkana izlazi *borna kiselina*, obara se ona kao mineral sasolin  $H_3BO_3$ . Sama za sebe borna kiselina nije hlapljiva, ali u doticaju vodenih para postaje hlapljiva i onda može da na hladnijim mjestima sublimira. Znatne količine borne kiseline daju sofioni, koji se nalaze u Italiji na Liparskom otočju (Vulcano) i kod mjesta Sasso u Toskani. Borna kiselina izlazi iz sofiona sa vrućim vodenim parama. Kako dodje na površinu, ispari se voda, a borna se kiselina izlučuje kao fini kristalasti prah. Pri tom se izlučivanju obaraju još neki borati i sulfati, ali većinom u malim količinama, na pr. larderelit  $(NH_4)_2B_3O_{18} \cdot 4H_2O$ , lagonit  $Fe_2O_3 \cdot 3B_2O_3 \cdot 3H_2O$ , behilit  $CaB_4O_7 \cdot 4H_2O$  i busengolit  $(NH_4)_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 6H_2O$ .

Po načinu pojavljivanja (po paragenezi) nekih *silikata* i po njihovom habitu zaključujemo, da su postali takodjer sublimacijom pri vulkanskim ekshalacijama. Nalazimo ih naime po pukotinama i šupljinama lave, ili su prirasli na pločastim kristalima željeznoga sjajnika, koji je nesumnjivo sublimacioni produkt. Svojom formom, bojom i sjajem posve se razlikuju od kristala istih silikata, koji su postali pirogenim putem, iz magme. Takvi su silikati sanidin, anortit, leucit, sodalit, olivin, humit, melanit, augit, rogovača (hornblenda), tinjac (liskun), titanit i drugi. Oni su postali kao sublimacioni produkti pri visokoj temperaturi za trajanja vulkanskih ekshalacija, gdje su uz ostale plinove i pare izlazili i fluorni spojevi (fluorovodik i hlapljivi fluoridi). U onom komešanju namjerili su se fluorni spojevi na neke minerale, koji su se nalazili u još vrlo vrućoj lavi; ti su minerali sami za sebe gotovo nehlapljivi, no uticajem fluornih spojeva kod visoke temperature postaju hlapljiviji, pa onda na hladnijim mjestima sublimiraju.

Minerale, koji postaju iz plinova i para, zovemo *pneumatogenima*<sup>1)</sup>, a procese, koji se vrše pri stvaranju pneumatogenih minerala, *pneumatolitskim procesima* ili *pneumatolizom*<sup>2)</sup>. Vidjeli smo, kako pri pneumatolitskim procesima neke kiseline (sona, sumporna i fluorovodična) žestoko razaraju mineralne sastavke stijena stvarajući od njih nove minerale. Pri tim pneumatolitskim procesima može neka stijena da bude potpuno metamorfozirana (pneumatolitska metamorfoza) tako, da od nje ne ostane ništa, do li kremične kiseline  $SiO_2$  kao jedini ostatak od nekadašnjih minerala. Negdje se pri pneumatolitskoj metamorfozi stijena, koja se nalazila u domašaju vulkanskih ekshalacija, na taj način metamorfozira, da se u njoj stvaraju novi minerali, na pr. klorit, glinena tvar, kalcit, pirit; ovakove promjene u kamenu djelovanjem pneumatolize zovemo *propilitizacijom*. Propilitizovane stijene redovno su putokazi za mineralna nalazišta; u njihovoj blizini razvila su se rudna ležišta. Tako se na pr. kod Alšara u Južnoj Srbiji nalaze znatne mase

<sup>1)</sup> Od grč. *pnéuma*, dah i *genesis*, postanak. <sup>2)</sup> Od grč. *lyein* razriješiti.



propilitizovanih stijena, u kojima ima mnogo klorita i pirita; a u njihovoj neposrednoj blizini leže arsenski i antimonski rudnici. Silni pneumatolitski procesi morali su se vršiti u Istočnoj Srbiji kod Bora, gdje su vulkanske ekshalacije u toliko zahvatile tamošnje mase andezita, da je jako propilitizovan, a u neposrednoj blizini propilitizovanih andezita nalaze se velike mase pirita i bakarnih ruda (halkopirit, kovelin, enargit, bornit, halkozin i t. d.). Kiseline su tako snažno djelovale na andezit, da je od njega mjestimice ostala samo spužvasta masa, koja je sastavljena od kremične kiseline  $\text{SiO}_2$ , dok su baze, koje su bile vezane za tu kiselinu kao minerali (augit, biotit, plagioklas), posve iščezle. Više puta može se naći oko Bora komada propilitizovanoga andezita, u kome se još vide forme nekadašnjih minerala (na pr. biotita), ali oni su već toliko metamorfozirani, da su potpuno izgubili svoje tamne boje (biotit crnu boju), pa se bijele u bijeloj masi spužvaste kremične kiseline.

## 2. Plutonske ekshalacije i minerali, koji postaju pri tim ekshalacijama.

Kad magma pri intruziji dospije nekamo u kamenu koru, popusti tlak, a plinovi i pare, što su se do tada nalazile u magmi, počinju iz nje izlaziti; dolazi do plutonskih ekshalacija. Pneumatolitski procesi u dubinama Zemlje bit će drugačiji, negoli na površini njenoj za trajanja vulkanskih ekshalacija, pa će i pneumatogeni minerali kod plutonskih ekshalacija biti drugačiji, negoli kod ekshalacija vulkanskih. Nalazeći se još uvijek pod velikim tlakom, ne mogu plinovi, koji su izašli iz magme, nikamo drugamo, nego u susjednu stijenu. U nju će moći ući to lakše, što je veći tlak i temperatura, pa će uz ta dva činioca početi kemijski djelovati na mineralne sastavke stijena; plinovi će neke sastavke posve otopiti i začić će u otopljeni materijal, da iz njega onda postane nov mineral, ili će se pojedini dijelovi plina spojiti sa pojedinim dijelovima minerala, pa će opet doći do razvitka novih pneumatolitskih minerala.

Zapaženo je, da su pneumatolitski produkti drugačiji kod plutonskih ekshalacija kiseloga stijenja od pneumatolitskih produkata bazičnoga stijenja, što govori, da su i ekshalacije kisele magme drugačije od ekshalacija bazične magme. Naročito je to proučavano kod pneumatolitskih minerala i pneumatolitske metamorfoze granita (kisela stijena), gabra (bazična stijena) i njihovih susjednih stijena, s kojima neposredno graniče. Obje te stijene kadikad su nosilice nekih minerala, koji po njihov mineralni sastav uopće nisu bitni; kad god se ti minerali u njima nalaze, stijene su znatno metamorfozirane. Tako se na pr. u nekim granitima i susjednom stijenju granita nalaze žile kositerne rude, kasiterita  $\text{SnO}_2$ . I gdje su god do danas nadjene na našem planetu žile kasiterita, vezane su samo za granit i za one stijene, koje se nalaze neposredno uz granit. Uz to se uz kasiterit nalaze stalno još neki minerali, koji su stalni njegovi pratioci i bez kojih on u granitu ne dolazi; to su: volframit, šelit, štolcit, halkopirit, bornit, hal-

kozin, arsenopirit, bizmutske rude, pirit, željezni sjajnik, molibdenski sjajnik; zatim još kadikad kolumbit, tantalit, rutil, anatas, cirkon, uranski minerali, kremen, minerali, koji imaju fluora, bora i fosfora, na pr. fluorit, litijski tinjac (liskun), cinvaldit, topaz, turmalin, apatit, beril i jedna vrsta kaolina t. zv. štajnmarm.

Ako se kasiterit sa pomenutim mineralima-pratiocima nalazi u granitu, granit je posve metamorfoziran; njegov se mineralni sastav: glinenac (feldšpat), kremen, biotit, izmijenio; granit je prešao u t. zv. grajzen<sup>1)</sup>, u stijenu, u kojoj nema više glinenca, nego je na njegovo mjesto došao kremen ili topaz, a na mjesto biotita muskovit ili litijski tinjac; još je grajzen sav impregniran kasiteritom, turmalinom, fluoritom i t. d.

Razvitak grajzena ili pomenutih minerala (kasiterita i njegovih pratilaca) tumače *Elie de Beaumont* i *Daubrée* kao posljedicu pneumatolitskih procesa, pri kojima su osobiti posao obavljali plinoviti spojevi fluora i bora, koji su pri erupciji granitske magme djelovali na granit i na okolne stijene. Da u granitskoj magmi ima doista fluornih (i klornih) spojeva, kazuju neki primarni minerali, koji se nalaze u granitu, a imaju u svom sastavu fluora i klora; to su na pr. topazi i neki liskuni. Kad dakle granitska magma dospije intruzijom u kamenu koru, dolazi do ekshalacija plinova i para. Te ekshalacije traju još i onda, kad je magma već sva iskristalizovana u granit, ali se granit nalazi sav jako ugrijan, dakle u visokoj temperaturi. Na taj ugrijani granit djeluju plinovi i vodene pare. Kad fluoridi, na pr. kositerni  $\text{SnF}_4$ , dolaze u doticaj vrućih vodenih para, razvija se kemijska reakcija, pri kojoj kisik zamjenjuje fluor; mjesto fluorida postaje oksid, a mjesto vode pojavljuje se fluorovodik:



Tako se razvijaju znatne količine fluorovodika, koji zalazi što u sam granit, što u okolne stijene i tu djeluje na mineralne sastavke, razara ih, da na njihovo mjesto dodju novi minerali, kojih tu prije nije bilo; djelovat će i na alumosilikate, na pr. na glinenac; njegovu će kremičnu kiselinu pretvoriti u silicijski fluorid  $\text{SiF}_4$ , koji će sa vrućim vodenim parama, po istoj šemi kao i kositerni fluorid, prijeći u silicijski dioksid, u kremen; kremen će se sve više razvijati, glinenac iščezavati i granit će napokon prijeći djelovanjem pneumatolize u grajzen. Pneumatoliza će uvjetovati i razvitak drugih minerala (kasiteritovih pratilaca), pa se može dogoditi, da granit prijedje u takovu stijenu, koja je sastavljena gotovo od samoga kremenca (kremenovac), od samoga topaza (topazovac), turmalina (turmalinovac) i t. d. Tako dolazi do impregnacija kasiterita (i minerala-pratilaca) u granitu. Ako se u granitu nalaze pukotine, ispune se kasiteritom i njegovim mineralima-pratiocima, pa na taj način dolazi do razvitka rudnih

<sup>1)</sup> Njemačka riječ; naziv za pomenutu stijenu.

žila kasiteritovih. Iste te žile i impregnacije mogu se pojaviti i u susjednom kamenu, koji se nalazi u neposrednoj blizini granita; takav je kamen također pretrpio znatnu pneumatolitsku metamorfozu.

Kod plutonskih ekshalacija iz kisele magme ne mora se uvijek razviti kasiterit; na njegovo mjesto dolaze kadikad bakarne rude (halkopirit, bornit i halkozin) u društvu sa željeznim sjajnikom, galenitom, sfaleritom, sinjavcima, arsenskim, bizmutskim i uranskim rudama; sa samorodnim zlatom, srebrom i bakrom; sa ilmenitom, rutilom, kalcitom, dolomitom, berilom, apatitom, fluoritom i turmalinom. Fluorit se zna kadikad razviti u tolikim količinama, da stvara bogate fluoritne žile, iz kojih se vadi fluorit u tehničke svrhe. Isto se tako znade razviti turmalin u velikoj količini, te je čitava stijena metamorfozirana u turmalinovac ili u t. zv. luksulijanit (turmalinizovani granit). Dakako i kod ovih pneumatolitskih procesa, uz koje su postali pomenuti pneumatogeni minerali bez kasiterita, prelazi granit u grajzen, a jednako pneumatolitska metamorfoza zahvati i susjedan kamen.

Kao produkt pneumatolize pri plutonskim ekshalacijama iz kiselih magma postao je vjerojatno i krijolit  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ . On se razvio u vrlo velikoj količini na Grönlandu okupljajući se u žilama granita, a prate ga: fluorit, kasiterit, volframit, arsenopirit, halkopirit, galenit, sfalerit, kolumbit, kremen i t. d.

Za pegmatitne žile, koje se često nalaze u granitima i gnajsima (na pr. u Moslavačkoj Gori, u Motajici, u granitskom masivu Tande u Istočnoj Srbiji, po gnajsima Selečke u Južnoj Srbiji i dr.), misli *Rosenbusch*, da su postale djelovanjem pneumatolitskih procesa. One su u glavnom sastavljene od kremenja i glinenca (obično ortoklas i mikroklin), ali uz te minerale dolaze gotovo redovito i onakvi minerali, koji imaju u svom sastavu fluora (apatit, topaz), bora (turmalin, aksinit), fosfora (apatit, monacit). A nalazi se u njima i kasiterita, volframita, kolumbita, berila i t. d.

Ako pogledamo minerale, koji su postali pri plutonskim ekshalacijama djelovanjem iz kisele magme, vidjet ćemo, da se među njima nalaze redovito i takvi minerali, koji u svom sastavu imaju fluora (fluorit, topaz, litijski tinjac i t. d.), a vrlo malo klora. Uzrok je tome, što se u kiselim magmama nalaze znatne količine fluornih, a male količine klornih spojeva; zato će među pneumatogenim mineralima, koji se razvijaju pri plutonskim ekshalacijama iz bazične magme, biti i takovih, koji će imati u svom sastavu klora, dok će minerali sa fluorom biti vrlo rijetki ili se uopće ne će ni razviti. Najobičniji mineral, koji se razvija pri plutonskim ekshalacijama iz bazičnoga kamenja, jest apatit, u kome je fluor zamijenjen klorom; prema tome su apatiti kiselih stijena fluorni apatiti  $\text{FCa}_5(\text{PO}_4)_3$ , a bazičnih stijena klorni apatiti  $\text{ClCa}_5(\text{PO}_4)_3$ . Apatit se zna razviti pri pneumatolitskim procesima u tolikoj količini, da stvara u bazičnom kamenju, na pr. u gabrima, moćne žile, iz kojih se vadi u tehničke svrhe. Uz apatit raz-

vija se u velikim količinama i rutil  $\text{TiO}_2$ , pa i njega onda vade, da ga upotrebe u tehničke svrhe.

Kako kasiterit ima svoje minerale-pratioce, ima ih i apatit, koji se razvija pneumatolitski. Ti su minerali: titanit, ilmenit, željezni sjajnik, pirotin, magnezijski tinjac, enstatit, rogovača (hornblend), albit, oligoklas, skapolit, kremen i kalcit. Fluorit, topaz, litijski tinjac, beril i ostali minerali, koje smo susretali u kasiteritnim žilama, ne dolaze nikada u apatitnim žilama.

Dakako da je kod razvitka apatitnih žila u bazičnom eruptivnom stijenju došlo i do pneumatolitske metamorfoze toga stijenja. Klorni spojevi, što su pri ekshalacijama izlazili iz bazične magme, djelovali su, analogno fluornim spojevima iz kisele magme, kao mineralni podstrekači (agents minéralisateurs) na mineralne sastavke gabra i okolnih stijena. Pri tom su se metamorfozirali naročito bazični plagioklasi prešavši u skapolit: od bazičnih plagioklasnih stijena razvile su se skapolitne stijene. Pneumatolitskoj metamorfozi granita u grajzen sa žilama kasiterita odgovara pneumatolitska metamorfoza bazičnih plagioklasnih stijena u skapolitne stijene sa žilama apatita.

3. *Ekshalacije iz sedimentnih stijena i minerali, koji postaju pri tim ekshalacijama.* Ugljene naslage mogu se zapaliti, kao što se to dogodilo na pr. u ugljenim naslagama kod Zenice u Bosni. Takav ugljenik gori pod zemljom neprestano, a pri tom se razvija visoka temperatura, koja dovodi do destilacije uglja. U uglju ima uvijek i raznih mineralnih tvari, koje kod visoke temperature mogu da prijedju u plinovito stanje. Zato se kod požara ugljenika razvijaju ekshalacije, pri kojima se mogu razviti neki minerali. Iz piritita, koji je redovan sastavak uglja, može da uz visoku temperaturu dodje do sublimacije sumpora, ali se može iz njega razviti i sumporna kiselina, koja sa nekim bazama stvara sulfate, pa ćemo pri pomenutim ekshalacijama naći kao sublimacione produkte neke sulfate, na pr. aluminijski sulfat (keramohalit), željezni i kalijski alaun, amonijski sulfat (maskanjin); često se stvara i amonijski klorid, a nalazi se i auripigmenta, realgara, arsenaste kiseline, bizmutskoga sjajnika i dr.

Kadikad mogu neki minerali da sublimiraju iz ugljenih naslaga i onda, kada one ne gore. Može se to dogoditi kod oksidacije piritita, koji se nalazi u ugljenu. Oksidacijom piritita razvija se toplina, koja pogoduje samoj oksidaciji. Što je dakle veća temperatura, pirit se brže oksidira, a što se brže oksidira, razvija se veća temperatura. U početku oksidacije temperatura je mala, ali kad oksidacija zapremi veće dimenzije, poskoči temperatura tako visoko, da dodje do rastvaranja piritita, pa u slučaju, ako nema dovoljno uzduha, čiji bi kisik mogao oksidirati sumpor, sublimira sumpor na hladnijim mjestima po ugljeniku. Kod dalje oksidacije piritita dolazi (uz pristup zraka) u ugljeniku do požara a s njim i do ekshalacija.

U nekim ugljenim (i petrolejskim) ležištima mogu se razviti i lako hlapljivi ugljikovi vodici, koji kao zemni plinovi (gasovi) sukljaju iz zemlje velikom snagom.<sup>1)</sup>

**129. Minerali se razvijaju iz vodenih otopina; hidatogeni minerali.** Pirogeni minerali eruptivna su porijekla; oni vuku svoju lozu neposredno iz rastaljene nutrine Zemljine, iz magme. I veliki dio pneumatogenih minerala vezan je za vulkanske pojave. Ali minerali, koji postaju iz vodenih otopina, a koje zovemo *hidatogenim*<sup>2)</sup> *mineralima*, potiču samo u nekim slučajevima neposredno iz magme; većinom je njihova tvar dospjela u vodenu otopinu propadanjem već razvitih, gotovih minerala tako, da je njihov postanak vezan za nestajanje drugih minerala; prema tome oni nisu, u velikoj svojoj većini, ni u kakvoj neposrednoj vezi sa magmom.

Kako je došlo do vodenih otopina? Na dvojak način. Kamena kora, što ovija jezgru Zemljinu, puna je rasjelina, šupljina, propuklica, kroz koje protiče voda, koja je po svojem porijeklu dvojaka. Jedan dio vode, što protiče nutrinom Zemljinom, eruptivna je porijekla, potiče iz magme. Vodene pare, što se u magmi nalaze, izlaze iz nje pri podzemnim erupcijama (intruzijama) u velikim količinama, pa dolazeći u dijelove kore Zemljine, gdje je manja temperatura i tlak, kondenziraju se, prelaze iz plinovita stanja u tekuće, u vrelu vodu, koju zovemo *juvenilnom*<sup>3)</sup> *vodom*. Kemijsko je djelovanje juvenilne vode vrlo veliko; ona ima znatnu moć otapanja već zbog toga, što se nalazi pod visokom temperaturom i velikim tlakom. Kako ta dva činioca djeluju na jakost vodina otapanja, neka pokaže ovaj pokus, što ga je obavio *G. Spezia* na apofilitu od Punaha. Djelujući vodom na pomenuti apofilit kroz 6 mjeseci uz tlak od 1750 atmosfera, nije se od apofilita ništa otopilo. Kad je od apofilita uzeo sitne kalotine pa na njih djelovao kroz 13 dana vodom uz običan tlak, ali uz temperaturu od 193 do 211°, kalotine su bile jako nagrižene sa vrlo lijepim izjedinama. Kad je kroz isto vrijeme djelovao na kalotine apofilita uz tlak od 500 atmosfera, ali uz temperaturu od 93—107°, nije se na kalotinama zapažala nikakova promjena. Prema tome ne zavisi otapanje apofilita u vodi od tlaka, nego od temperature, kod koje se voda nalazi.

U koliko djeluje temperatura na moć vodina otapanja, vidimo također iz pokusa, što ih je obavio *E. Berkeley* ispitujući topljivost NaCl i KCl u vodi kod temperatura od 10—100°:

<sup>1)</sup> *R. Brauns*: Chemische Mineralogie, pag. 283.

<sup>2)</sup> Od grč. *hýdor*, *hýdatos*, voda i *génesis*, postanak.

<sup>3)</sup> Od lat. *juvenilis*, mladenački.

Temperatura u °C	Utezni dijelovi otopine	
	natrijskoga klorida	kalijskoga klorida
10	26·3	23·8
20	26·4	25·6
30	26·5	27·2
40	26·6	28·6
50	26·8	30·0
60	27·0	31·3
70	27·3	32·5
80	27·5	33·8
90	27·8	35·0
100	28·1	36·3

Ali da i tlak povećava vodi moć otapanja, pokazali su neki pokusi na pr. pokusi *F. Pfaffa*, koje je obavljao djelujući vodom uz izvjestan tlak na gips i glinenac: listić gipsa težak 0,15 g držan u zasićenoj otopini gipsa kroz 24 sata uz tlak od 20 atmosfera, izgubio je od svoje težine 0,007 g; glinenac držan kroz 3 dana u vodi uz tlak od 160 atmosfera, izgubio je toliko od svoje težine, da je bilo potrebno 3436 dijelova vode za otapanje jednoga dijela glinenca. *Sorby* je u tom smjeru obavljao pokuse sa nekim solima, pa je našao, da se topljivost bakarnoga sulfata — ako uzmemo, da je množina prvotno otopljene soli jednaka 100 — povećala uz tlak od 60 atmosfera za 1,91%, topljivost kalijskoga sulfata uvećala se uz tlak od 63 atmosfere za 1,84%, a natrijskoga klorida uz tlak od 97 atmosfera za 0,407%. Prema tome bi se uz tlak od 100 atmosfera povećala topljivost bakarnoga sulfata za 3,183%, kalijskoga sulfata za 2,914%, natrijskoga klorida za 4,19%, dok bi se naprotiv topljivost amonijskoga klorida uz tlak od 100 atmosfera smanjila za 1,25%; t. j. topljivost je soli zavisna o tlaku i to tako, da se djelovanjem tlaka topljivost uvećava, ako je otapanje vezano za kontrakciju (stezanje); ako je otapanje vezano za širenje (kako je to na pr. kod amonijskoga klorida), topljivost se umanjuje; dakle posve analogno pojavama, o kojima smo govorili kod rasteanja i padanja tališta djelovanjem tlaka (vidi još 132!).

Još se može povećati juvenilnoj vodi moć otapanja i na taj način, da u nju udju neke tuđe tvari (134, 135). Iz magme može u nju ući po koja kiselina, metalni sulfidi i oksidi, pa razne soli. No juvenilna voda protiče pukotinama stijena dolazeći tako u doticaj sa raznim mineralima, koje na svom putu po malo otapa, pa i te tako otopljene tvari nosi sa sobom. I tako je eto juvenilna voda postala nosilica raznih mineralnih tvari, ona je mineralna voda, iz koje će se u zgodnim prilikama razviti mnogi minerali.

Ali kamenom korom protiče i ona voda, što je u nju dospjela sa površine Zemlje. Ta je voda postala u atmosferi iz vođenih para, pala je na Zemlju kao kiša, snijeg, mraz i led, pa je sa površine procurila u nutrinu kamenoga ovoja; nju zovemo *vadoznom*<sup>1)</sup> vodom. Kroz propuklice i šupljine, kojih ima bez broja u kamenoj kori, prolazi vadozna voda i svagdje na svom putu nailazi na minerale, koje polako otapa, otapa kroz duge vijekove, kroz milijone i milijone godina. Na taj način postala je i vadozna voda otopinom raznih mineralnih tvari u vrlo malim količinama. Nijedna voda, što izvire iz kamene kore, nijedna voda, što se u toj kori nalazi, nije kemijski čista voda; svaka ima u sebi sad više, sad manje otopljenih tvari, iz kojih će se u zgodnim prilikama razviti različiti minerali.

Izvori daju vodu potočićima, koji se slijevaju u potoke i rijeke, a one dalje teku u mora i oceane i nose danomice sa sobom mineralne tvari, koje se sve više gomilaju u moru. Pa dok su izvor-vode obično siromašne mineralnim tvarima, u morskoj vodi ima tih tvari mnogo. Neka nam tu razliku u mineralnim tvarima izvor-vode i morske vode pokazuju ove dvije kemijske analize; pod I. jest analiza vode zagrebačkoga vodo-voda, a pod II. analiza vode Jadranskoga Mora kod Kraljevice u Hrvatskom Primorju. U 1000 g vode ima:

	I.	II.
Natrijskoga oksida Na <sub>2</sub> O .....	tragovi	15,516 g
Kalijskoga oksida K <sub>2</sub> O .....	—	0,481 „
Kalcijskoga oksida CaO .....	0,1573 g	0,553 „
Magnezijskoga oksida MgO .....	0,0367 „	2,327 „
Željeznoga oksida Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	0,0030 „	0,002 „
Aluminijskoga oksida Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....		
Klora Cl .....	0,0031 „	20,691 „
Broma Br .....	—	0,083 „
Joda J .....	—	0,007 „
Kremične kiseline SiO <sub>2</sub> .....	0,0118 „	0,001 „
Sumporne kiseline SO <sub>3</sub> .....	0,0164 „	0,4271 „
Ugljične kiseline CO <sub>2</sub> .....	0,1531 „	— „

U 1000 g vode ima... 0,3814 g 40,0881 g

mineralnih tvari.

Neke izvor-vode, one, koje dopiru iz velikih dubina, te nisu ni u kakvoj vezi sa vadoznom vodom, nego se nalaze u domašaju ili nekadašnjih vulkanskih erupcija ili su vezane za goleme rasjeline, što se nalaze u kori Zemljinoj, imaju više otopljenih mineralnih tvari; to su prave *mineralne vode*, koje se baš tom znatnijom količinom mineralnih tvari razlikuju od pitke (pijaće) vode, u kojoj se nalaze otopljene mineralne tvari tek u ne-

<sup>1)</sup> Od lat. *vadōsus*, plitak.

znatnim količinama, gotovo u tragovima. I po količini i po vrsti mineralnih tvari mineralne su vode vrlo različite, kako to pokazuju i ove dvije niže navedene kemijske analize, gdje pod I. imamo analizu mineralne (arsenske) vode iz doline Crvene Rijeke kod Srebrnice u Bosni, a pod II. analizu mineralne vode (kiseline), što izvire na desnoj obali Lepenice kod Fojnice u Bosni; u 1000 g vode ima:

	I.	II.
Kalijskoga klorida KCl .....	0,0020 g	0,0537 g
Natrijskoga klorida NaCl .....	—	0,2440 „
Litijskoga klorida LiCl .....	tragovi	tragovi
Amonijskoga klorida NH <sub>4</sub> Cl .....	—	„
Kalijskoga sulfata K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	0,0143 g	—
Natrijskoga sulfata Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	0,0059 „	1,2948 g
Kalcijskoga sulfata CaSO <sub>4</sub> .....	0,0133 „	0,3732 „
Magnezijskoga sulfata MgSO <sub>4</sub> .....	0,0221 „	—
Željeznoga sulfata FeSO <sub>4</sub> .....	0,3737 „	—
Manganskoga sulfata MnSO <sub>4</sub> .....	0,0008 „	—
Činkana sulfata ZnSO <sub>4</sub> .....	0,0077 „	—
Bakarna sulfata CuSO <sub>4</sub> .....	tragovi	—
Aluminijskoga sulfata Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> .....	0,2273 g	—
Kalcijskoga hidroarsenijata CaHAsO <sub>4</sub> .....	0,0111 „	—
Kalcijskoga hidrokarbonata Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .....	—	3,1356 g
Stroncijskoga hidrokarbonata Sr(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .....	—	0,0079 „
Magnezijskoga hidrokarbonata Mg(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .....	—	1,2439 „
Željeznoga hidrokarbonata Fe(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .....	—	0,0264 „
Manganskoga hidrokarbonata Mn(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .....	—	0,0007 „
Kalcijskoga hidrofosfata CaHPO <sub>4</sub> .....	—	0,0008 „
Aluminijskoga hidrofosfata Al <sub>2</sub> (HPO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> .....	0,0012 g	0,0005 „
Slobodne sumporne kiseline H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	0,0154 „	—
Kremične metakiseline H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> .....	0,0841 „	0,0220 „
Borne metakiseline HBO <sub>2</sub> .....	—	0,0003 „
Slobodna ugljikova dioksida CO <sub>2</sub> .....	—	1,8243 „
Organske tvari .....	0,0074 g	0,0204 „
Svega .....	0,7863 g	8,2485 g

Kako se iz navedenih analiza razabira, nema u izvor-vodi mnogo otopljenih mineralnih tvari. Pa ipak uz neprestano isticanje vode, daju izvori silnu količinu mineralnoga materijala, što se najljepše opaža oko nekih izvora, gdje se taj materijal taloži u velikoj količini; na pr. sumpor oko izvora Ildže kod Sarajeva. Da dobijemo sliku o količini mineralnoga materijala, što ga izvori sa sobom nose, neka nam posluže izvori Karlovih Vary u Čehoslovačkoj. Po računu E. Ludwiga u jednom kilogramu karlovarske vode ima 5½ g otopljenih mineralnih tvari; u 1,070.647 m<sup>3</sup> vode,

koliko vode daju godišnje pomenuti izvori, nalazi se prema tome oko 5,886.720 kg mineralnih soli tako, da bi karlovarski izvori davali godišnje (uz još neke soli):

natrijskoga karbonata $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .....	1,387.584 kg
natrijskoga sulfata $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .....	2,575.440 kg
natrijskoga klorida $\text{NaCl}$ .....	1,103.760 kg.

Potočne i riječne vode siromašnije su mineralnim tvarima od izvora; one su, kako smo kazali, lake ili meke vode. To tako i mora da bude: potočne i riječne vode nose onaj otopljeni mineralni materijal, što ga nose i njihove izvor-vode, od kojih potiču. Ali već oko samih izvora, izlučuju se znatnije količine nekih mineralnih tvari, a i u daljnjem toku dolazi do takvog izlučivanja, pa na taj način, što dalje od izvora, voda je siromašnija nekim mineralnim tvarima. O tom bismo se mogli osvjedočiti, da zadjemo na pr. u krajeve našega krša, koji je gotovo sav izgrađen od karbonatskih stijena, od krečnjaka i dolomita. Vode podzemnice protičući kroz stijene krečnjaka i dolomita, otapaju ih i tako nose sa sobom otopljene sastavne dijelove pomenutih stijena, naročito kalcijski bikarbonat. Kad izadju na vidjelo kao izvor, pune su kalcijskoga bikarbonata, koji se u okolini izvora i u gornjem toku, gdje dolazi do vodopada, izlučuje kao krečnjačka sedra (bigar). Tako na pr. izvori, koji hrane Plitvička Jezera, u Lici, a i sama Plitvička Jezera, imaju znatne količine otopljena kalcijskoga bikarbonata; gdje god dodje tamo do vodopada, izlučuje se kalcijski karbonat i stvara silne količine bigra ili sedre, koju možemo motriti na Plitvičkim Jezerima. Dakako da će voda Korane, koja ističe iz Plitvičkih Jezera, imati znatno manje kalcijskoga bikarbonata od vode pomenutih jezera; a kako će ona još i na svom daljnjem toku izgubiti kalcijskoga bikarbonata, imat će ona na svom ušću daleko manje pomenute mineralne tvari negoli na izvoru.

Još se mijenja količina mineralnih tvari u potočnim i riječnim vodama i na taj način, da atmosferske padaline (kiša, snijeg) dovode u potoke i rijeke neku količinu vode, u kojoj se uopće ne nalazi mineralnih tvari, pa tako postaje potočna i riječna voda još siromašnija tim tvarima.

U potočnim i riječnim vodama najobilnija je otopljena mineralna tvar kalcijski karbonat; zatim dolazi po količini kalcijski sulfat, natrijski klorid, magnezijski sulfat, magnezijski karbonat i kremična kiselina. Dakako da će i vrsta i količina mineralnih tvari zavisiti o petrografskom karakteru kraja, kroz koji protiču vode. Zagrebačka Gora na pr. sagradjena je od stijena, u kojima ima mnogo kalcijskih i magnezijških minerala, pa nešto pirita. Zato će i vode, što protiču stijenama Zagrebačke Gore, imati medju mineralnim tvarima dosta kalcijskoga karbonata i magnezijskoga sulfata; i gdje padaju, hvata se oko vodopada krečnjačka sedra (bigar). U Moslavačkoj Gori, koja je u glavnom sagradjena od granita i gnajsa, dakle od

stijena, u kojima ima vrlo malo kalcija, protiču vode, koje imaju malo kalcijskoga karbonata; oko njihovih vodopada neposredno u granitskom ili gnajnsom terenu ne ćemo naći krečnjačke sedre. Neke vode, koje protiču na pr. krajevima, gdje ima mnogo gipsa, imaju medju mineralnim tvarima najviše kalcijskoga sulfata; vode koje protiču stepama, gdje se nalazi mnogo kamene soli, bogate su natrijskim kloridom.

Kako se odnose pojedine mineralne tvari u riječnoj vodi, neka pokažu ovi brojevi, što ih je izračunao *T. Sterry Hunt* iz kemijske analize vode Rajne (kod Bonna), Visle, Rhône, Loire, Themse, Nila, St. Lawrence i Ottawe; u 100 dijelova mineralnih tvari ima:

	maksimum	srednje	minimum
Karbonata .....	81,5%	60,1%	45,9%
Sulfata .....	18,9	9,9	2,5
Klorida .....	11,8	5,2	3,5
Drugoga <sup>1)</sup> .....	45,0	24,8	—

Računa se, da količina kalcijskoga karbonata, što ga rijeke godišnje donesu u oceane, iznosi 926 milijona tona.

Rijeke utiču u more i nose u nj ottopljeni mineralni materijal, što su ga od izvora primile i na svom putu pokupile. Kako voda može da otopi svaki mineral (132), jasno je, da će se u morskoj vodi nalaziti sve one tvari, od kojih je izgradjena kamena kora ili minerali; u morskoj vodi nalazit će se dakle svi oni kemijski elementi, koji se nalaze i u kamenoj kôri. Kakav je mineralni sastav morske vode, razabiramo iz podataka kemijske analize pod II. na str. 520. i iz podataka na str. 525. Da se vidi, kako je taj sastav ojednak, navest ćemo postotni sastav soli Atlanskoga Oceana (I.), Istočnoga Mora izmedju Oelanda i Gothlanda (II.), Sredozemnoga Mora kod Kartage (III.) i Crvenoga Mora (IV.):

	I.	II.	III.	IV.
Cl .....	55,185	55,01	55,53	55,60
Br .....	0,179	0,13	0,18	0,13
$\text{SO}_4$ .....	7,914	8,00	7,74	7,49
$\text{CO}_2$ .....	0,213	0,14	0,19	0,02
Na .....	30,260	30,47	30,37	30,81
K .....	1,109	0,96	1,09	0,97
Rb .....	?	0,04	?	0,03
Ca .....	1,244	1,67	1,26	0,89
Mg .....	3,896	3,53	3,64	3,87
Fe, $\text{SiO}_2$ , $\text{PO}_4$ .....	?	0,05	?	0,02

Atlanski Ocean (I.) ima u 1 kg vode 3,631 g mineralnih soli (srednja vrijednost iz 22 analize); Istočno More (II.) ima u 1 kg vode 3,7215 g mineralnih soli; Sredozemno More (III.) ima u 1 kg vode:

<sup>1)</sup>  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ , nitrati, organska tvar i t. d.

3,8974 g mineralnih soli; Crveno More (IV.) ima u 1 kg vode 3,976 g mineralnih soli.

Osim pomenutih soli nalaze se u morskoj vodi apsorbirane velike količine atmosferskih plinova: ugljične kiseline, kisika i dušika (azota). *J. Murray* je našao u jednoj litri vode 45 miligrama apsorbirane ugljične kiseline; prema tome bi u cjelokupnoj morskoj vodi, koje ima okruglo 1300 milijuna kubnih kilometara, bilo oko 60 bilijona tona ugljične kiseline. U 1 litri morske vode ima apsorbirana kisika 15,6 miligrama, a dušika 9,12 miligrama; prema tome ima u svim morima oko 12 bilijona tona kisika i 10 bilijona tona dušika. Dakako da je i količina mineralnih soli uz onu golemu masu morske vode također golema; računa se, da u cjelokupnoj količini morske vode, u iznosu od 1300 milijuna kubnih kilometara ima oko 20 milijuna kubnih kilometara mineralnih soli, što odgovara težini od 45 bilijona tona. Kad bi se isparila sva morska voda, ostalo bi 34—35 bilijona tona natrijskoga klorida, 3 bilijona tona magnezijuskoga klorida, 2 bilijona tona kalcijuskoga sulfata, 1 bilijon tona kalijuskoga klorida. Među tim solima nalaze se dakako i velike količine onih elemenata, koji se u kemijskoj analizi morske vode i ne navode, jer ih u 1 kg vode ima jako malo. Tako je *F. L. Wagoner* našao u 1 toni morske vode 11,1 miligrama zlata i 169,5 miligrama srebra. *Joly* je proučavajući radioaktivnost morske vode izračunao za 1 kubni centimetar morske vode  $0,017 \times 10^{-10}$  g radija, što bi odgovaralo množini radija od 20000 tona u cjelokupnoj morskoj vodi.

Kad se pojedini dijelovi mora djelovanjem geodinamskih procesa, ili kojim drugim djelovanjem, odvoje od morske cjeline, pa se u njima više vode isparuje negoli pritiče, koncentruju se u tim dijelovima mineralne soli i tako postaju od tih odvojenih morskih dijelova *slana jezera*. Može se na pr. dogoditi, da pojedini morski zalivi budu pješčanom prečagom, ili branom odvojeni od mora; ili takova brana postane izdizanjem morskoga dna. Kako u zaliv pritiče manje vode negoli se ispari, postaje sve slaniji, prelazeći u slano jezero. Dogadjalo se u geološko doba i to, da se je dizanjem morskoga dna počelo more povlačiti, a na njegovu mjestu pojavljivalo se sve više kopno. Od nekadašnjega prostranoga mora ostala su u uvalama tek pojedina jezera, koja su se zbog postepenoga isparivanja, a preslaboga pritičanja vode pretvorila u slana jezera. Slanih jezera, koja su na pomenuti način postala, nalazimo naročito u Astrahanskoj stepi, gdje ih ima preko 2000; ona su ostatak nekadašnjega oceana, za koji se drži, da se prostirao širokom ruskom stepom sve od Sredozemnoga do Ledena Mora spajajući oba ta mora u jedno. I Kaspijsko More ostatak je toga davnoga oceana. Kako u nj utiče Volga, Ural i druge rijeke donoseći silne mase vode, nije Kaspijsko More u domašaju ušća onako slano kao ocean, a slanost mu pada i zbog toga, što se na istočnim njegovim plit-

kim obalama neprestano izlučuju soli, jer je tamo isparivanje vode jačeg negoli pritičanje. To se znatno isparivanje vrši osobito u nekim zalivima na istočnoj strani mora, na pr. u zalivu Karabugas, koji je već skoro posve branom odijeljen od mora. Dok Kaspijsko More na mjestima, gdje nema mnogo pritičanja riječne vode, sadrži u 1000 dijelova vode 12,945 dijelova raznih soli, ima u zalivu Karabugas u 1000 dijelova vode 284,996 dijelova raznih soli. Još je od zaliva Karabugas bogatije solima Eltonsko Jezero (u Astrahanskoj stepi), koje ima u 1000 dijelova vode 291,3 dijela soli. Kaidak zaliv, koji se nalazi na sjeveroistoku Kaspijskoga Mora, dakle nešto bliže na domašaj ušća Embe i Urala, ima u 1000 dijelova vode 56,279 dijelova soli. Da dobijemo jasniju sliku o količini soli u Kaspijskom Moru, Kaidak zalivu, Karabugas zalivu i Eltonskom Jezeru, navest ćemo kemijske analize njihove vode; u 1000 dijelova vode ima:

	Kaspijsko More	Kaidak zaliv	Karabugas zal.	Eltonsko Jez.
NaCl.....	8,116	39,395	83,284	38,3
KCl.....	0,134	0,151	9,956	2,3
RbCl.....	0,003	—	0,251	—
MgCl <sub>2</sub> .....	0,612	—	129,377	197,5
MgBr <sub>2</sub> .....	0,008	—	0,193	—
MgSO <sub>4</sub> .....	3,086	13,389	61,935	53,2
MgCO <sub>3</sub> .....	—	0,211	—	—
CaSO <sub>4</sub> .....	0,900	2,170	—	—
CaCO <sub>3</sub> .....	0,078	0,963	—	—
	12,937 <sup>1)</sup>	56,279	284,996	291,3

Zaliv Karabugas i Eltonsko Jezero po znatnijoj količini magnezijuskih soli možemo shvatiti i kao *gorka jezera*.

Neka slana jezera, naročito ona, koja nisu nikad bila u vezi sa oceanima, nego su od iskona postojala kao t. zv. unutrašnja mora (kakovo je na pr. današnje Mrtvo More), mogu imati vrlo različit sastav svojih soli; osobito znadu biti bogata natrijskim solima, pa ih zovemo *natrijskim* ili *sodnim jezerima*. U takvim jezerima obično se od natrijskih soli pojavljuje u najvećoj količini natrijski klorid; za njim slijedi po količini natrijski karbonat, pa natrijski sulfat; negdje znade biti natrijskoga karbonata ili natrijskoga sulfata više od natrijskoga klorida. Ostale soli, napose magnezijske, pojavljuju se u sodnim jezerima u vrlo maloj količini. Kakav je sastav mineralnih soli u sodnim jezerima, neka pokaže ova analiza vode sodnoga jezera Owen's Lake u Kaliforniji; u jednoj litri vode ima:

NaCl.....	29,415 g
KCl.....	3,317
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	11,080

<sup>1)</sup> Još ima: 0,001 FeCO<sub>3</sub>, 0,002 Ca<sub>3</sub>P<sub>2</sub>O<sub>8</sub>, 0,002 SiO<sub>2</sub>.

Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> .....	26,963
NaHCO <sub>3</sub> .....	5,715
CaCO <sub>3</sub> } .....	0,055
MgCO <sub>3</sub> } .....	
Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> .....	0,475
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> } .....	0,038
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> } .....	
SiO <sub>2</sub> .....	0,220
	77,278 g

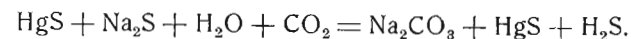
U nekim jezerima nalazi se među natrijskim solima znatna količina natrijskoga tetraborata (boraksa); takva jezera zovemo *boraksnim jezerima*.

U vodama dakle, što se nalaze u nutrini Zemlje i protiču kamenom korom ili se nalaze na njenoj površini kao izvori, potoci, rijeke, jezera i mora, ima veća ili manja količina otopljenih mineralnih tvari; iz tih će se vodenih otopina uz izvjesne fizičko-kemijske prilike izlučivati različiti minerali, t. j. to će izlučivanje stajati do termijskih sila (do topline), do mehaničkih sila (do tlaka), do kemijskih sila (do koncentracije i prirode otopine); te sile drže otopljene tvari u ravnoteži, pa čim se one i najmanje promijene, poremeti se ravnoteža i otopljene tvari počinju se izlučivati ili kao kristalizovana ili kao koloidna tijela.

1. *Izlučivanje minerala iz vodene otopine padanjem tlaka i temperature i nestajanjem topila (alkalijskih sulfida)*. Kako kristalizacija pojedinih sastavaka u taljevini (u magmi) nije stajala do njihova tališta, ne će ni kristalizacija tvari u vodenoj otopini stajati do njihove topljivosti, nego do temperature, tlaka i omjera, u kom se one nalaze izmiješane među sobom, dakle do njihove koncentracije. U nekim slučajevima doći će do izlučivanja minerala iz otopine, *čim popusti tlak i temperatura*, koji su mineralnu tvar držali u otopljenom stanju. Kazali smo, da temperatura i tlak povećavaju vodi njenu moć otapanja, pa će uz visoku temperaturu i tlak otopiti i one mineralne tvari, koje uz običnu temperaturu i tlak ne bi otopila. Zato se te tvari opet izlučuju, kad padne temperatura i tlak. Kad dakle juvenilna voda ili uopće voda, koja se nalazi u dubinama Zemlje u visokoj temperaturi i pod velikim tlakom, dodje na površinu Zemlje, izlučivat će se oko njenih izvora razni minerali. Tako se hvata oko vrućih vrela i gejzira opalna tvar t. zv. gejzerit (kremena cjedina) više puta u velikim količinama (na pr. u vulkanskim predjelima Islanda, New-Zealanda, Yellowstone-Parka). Po gejzeritima Yellowstonea nalazi se auripigmenta, realgara i skorodita, pa su i oni postali kristalizacijom iz gejzirske vode. Gejzeriti od Steamboat Springs-a u Nevadi imaju po pukotinama uz neke rude i zlata, a isto se tako nalazi zlato u željeznom sjajniku po gejzeritima u Queenslandu u Australiji. To zlato potiče iz velikih dubina, gdje je voda uz veliki tlak i visoku temperaturu otopila neke zlatonosne minerale; do-

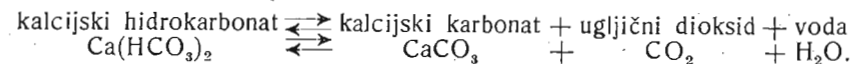
spjevši na površinu popustio je tlak i temperatura, a zlato se izlučilo zajedno sa kremičnom kiselinom (gejzeritom) i željeznim sjajnikom.

Vruće vode nose sa sobom različit mineralni materijal, pa će se iz njih padanjem temperature i tlaka razviti različiti minerali; osim gejzerita i pomenutih minerala, nalazi se oko vrućih vrela još žive, cinabarita, metacinabarita, barita, celestina, gipsa, fluorita i t. d. Izlučivanje minerala iz vrućih vodenih otopina potpomaže još i nestajanje topila (vode i ugljične kiseline, alkalijskih sulfida). Živin sulfid HgS na pr. nije topljiv u čistoj vodi, ali se otapa u otopini alkalijskih sulfida (137) na pr. u otopini natrijskoga sulfida Na<sub>2</sub>S. Dodje li otopina živina i natrijskoga sulfida sa gejzirskom vodom na površinu, raspast će se natrijski sulfid u doticaju sa ugljičnom kiselinom uzduha, i živin sulfid ne može više postojati u otopljenom stanju; on se kristalizuje kao rumenica:



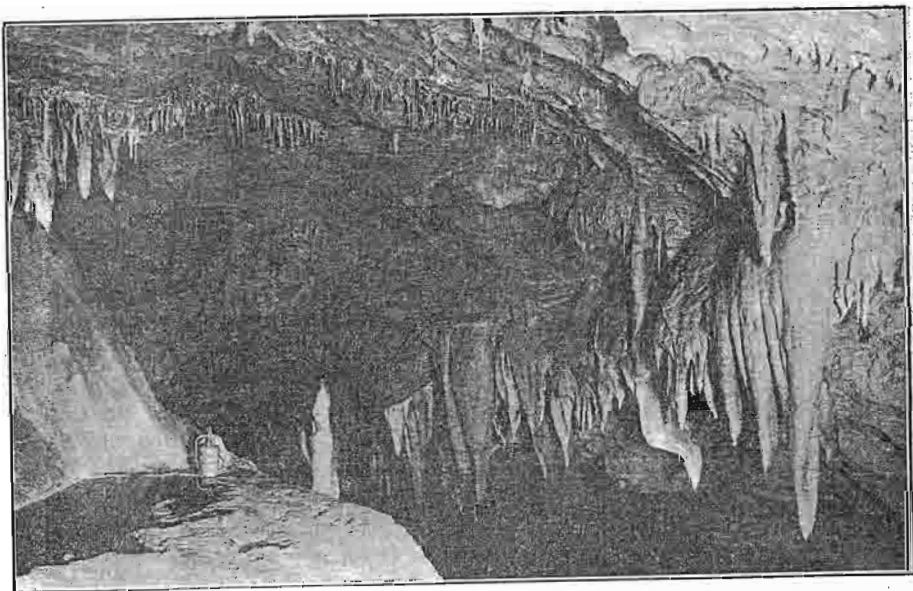
I ostali sulfidi (auripigment, realgar i t. d.), što ih nalazimo oko gejzira i po nekim termama, postaju na pomenuti način.

2. *Izlučivanje minerala iz vodene otopine nestajanjem ugljične kiseline kao topila*. U vodama tekućicama može da dodje do kristalizacije mineralne tvari, kada iz vode *nestane ugljične kiseline*, koja je, kao topilo, držala neke mineralne tvari u otopljenom stanju. Tako su primjerice neki u vodi netopljivi neutralni karbonati topljivi u onoj vodi, u kojoj ima ugljične kiseline; ta ih kiselina drži u tekućem stanju kao hidrokarbonate (kisele karbonate). Čim iz vode budi na koji način nestane ugljične kiseline, prelaze topljivi hidrokarbonati u netopljive neutralne karbonate. Taj bismo proces mogli ovako šematski prikazati:



Ugljična kiselina može izaći iz vode na različite načine, na pr. posve mehanički. Taj proces *mehaničkoga uklanjanja* ugljične kiseline možemo pratiti u našim krševitim krajevima, krajevima karbonatskoga gorja. Sve vode, što protiču krečnjačkim krajevima, imaju znatnu količinu otopljenog kalcijskoga hidrokarbonata. Tamo, gdje dolazi do jakoga razbijanja i udaranja o kamene hridi i gromade, rasprskava se voda u sitne kapljice, pa pri tom mehaničkom djelovanju izlazi iz nje ugljična kiselina, a topljivi kalcijski hidrokarbonat prelazi u netopljivi, neutralni karbonat, koji se taloži i hvata u blizini onih stijena, o koje je voda udarala. Zato ćemo svagdje uz slapove, uz brzice, koje teku preko gromada stijena, naći taloge sedre (bigra). Goleme mase sedre, koja je postala na pomenuti način, nalazimo oko slapova Plive u Jajcu i na čitavom putu od Jezera pokraj obala Plive pa sve do njenoga pada u Vrbas; zatim oko Plitvičkih Jezera, oko ušća Une, oko Butišnice kod Golubića kraj Knina u Dalmaciji i t. d.

Ugljična kiselina može izaći iz vode i jednostavnim *ishlapljivanjem*. Taj se proces vrši po pećinama našega krša. Kroz pukotine krečnjaka prolazi voda, u kojoj ima otopljena kalcijevog hidrokarbonata; dolazi ta voda kroz pukotine na svodove i zidove pećina, pa kao sitna kapljica proviri kroz pukotinu, visi neko vrijeme na stropu, dok je sila teže ne prisili, da se spusti sa stropa na dno pećine, gdje udari o kamen i rasprši u još sitnije kapljice. Pri tom udaranju o stijene izlazi iz vode ugljična kiselina, a na dnu pećine hvata se neutralni kalcijev karbonat, hvata se malo pomalo, dok kroz dugo vrijeme ne izraste u čitav stup, u lijepi *stalagmit*<sup>1)</sup>. A ona kapljica, što je neko vrijeme visila na stropu pećine odupirući se sili teže, gubila je također nešto malo ugljične kiseline; ugljična je kiselina polako hlapila, a nešto malo hidrokarbonata prešlo je u neutralni karbonat i uhvatilo se na stropu pećine; traje taj proces vrlo dugo, a na stropu pećine sve više raste kalcijev neutralni karbonat, dok i on ne izraste u oduljene debele i tanke komade, *stalaktite*<sup>2)</sup>, što vise



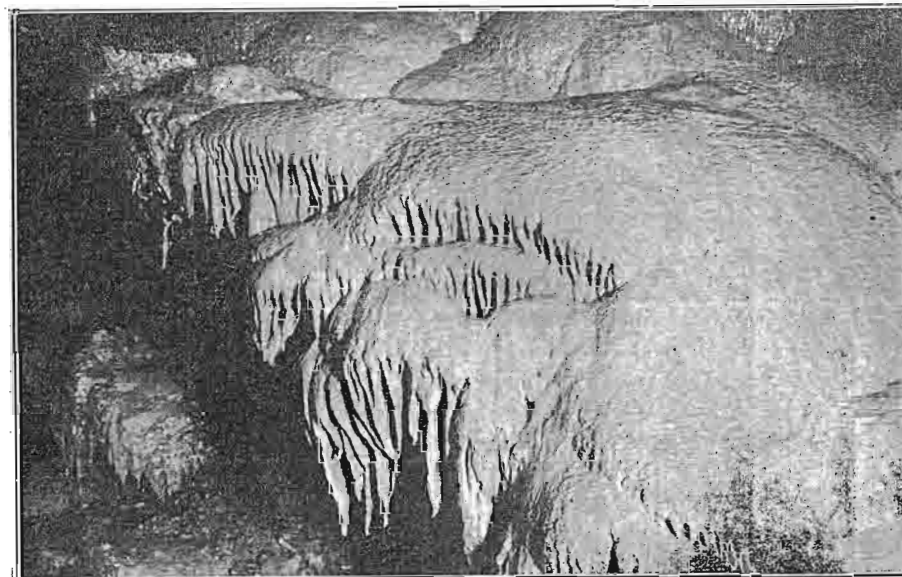
Sl. 797. Sige (stalaktiti i stalagmiti) u pećini Vjetrenici u Popovom Polju u Hercegovini. Fot. prof. Kušević.

u najrazličitijim formama sa stropa pećine (sl. 797. i 798.). U mnogim stranama našega krša neke su pećine (a ima ih jako mnogo) prepune naj-

1) Od grč. *stalagmós*, kaplja. 2) Od grč. *stalaktitós*, što kaplje.

slikovitijih stalaktita i stalagmita, koje zovemo jednim imenom *sige*. Na glasu je sa svojim sigama Postojnska Jama (za sada u Italiji), pećina Karle kod Dubrovnika, Vjetrenica u Popovu Polju u Hercegovini, Lazareva pećina kod Zlota u Istočnoj Srbiji i t. d.

I *biljke*, koje žive u vodi, mogu oduzeti vodi ugljičnu kiselinu, pa će se tako sudjelovanjem živih bića moći iz vodene otopine izlučiti kalcijev karbonat. Biljka naime treba za gradnju svoga tijela ugljičnu kiselinu, ona je asimilira, pa kako je uzima iz vode, tako se oko nje obara kalcijev karbonat kao bigar ili sedra. Od vodenih biljki, koje oduzimaju ugljičnu kiselinu, važne su različite mahovine (*Hypnum*, *Eucladium*, *Trichostomum*), neke alge (*Leptotrix*, *Hypheotrix Naegeli*) i dijatomeje (*Synedra*-vrste). Kako uzimaju iz vode ugljičnu kiselinu, obara se oko njih kalcijev karbonat i posve ih skamenjuje, pa da ne rastu neprestano vrhom u vis, posve bi ih kalcijev karbonat omotao i udušio. Pošto ih ima u vodi sva sila, obaraju velike količine krečnjaka, koji se kao bigar i tra-



Sl. 798. Sige (stalaktiti) u pećini Vjetrenici u Popovom Polju u Hercegovini. Fot. prof. Kušević.

vertin nakuplja u silnim masama. Kalcijev karbonat, koji sastavlja sedru (bigar), travertin i sige, pripada romboedrijskoj modifikaciji, kalcitu; to je kristalasti kalcit. Gdje su prilike bile povoljne, razvio se kalcit u kri-



stalnim formama, na pr. po pukotinama silikatnih stijena, gdje se nalaze više puta vrlo lijepi kristali kalcita.

Ali iz otopine kalcijuskoga bikarbonata može se gubitkom ugljične kiseline razviti kalcijski karbonat i u rompskoj modifikaciji, kao aragonit. Naročito ćemo naći aragonita, koji je na taj način postao, po toplim vrelima, na pr. kod nas u Varaždinskim Toplicama, gdje se izlučuje u kaonijeg bijelim mekanim sigama ili se taloži stvarajući bijele mekane naslage, na kojima se vide slojevi, kako su odijeljeni u horizontalnom smjeru vijugastim tanušnim tamnim crtama; te vijugave crte potiču od naslaga pojedinih slojeva. Kalcijski bikarbonat, iz koga se razvio aragonit Varaždinskih sumporovitih Toplica, došao je sa vrućom vodom iz dubina Zemlje, pa kad je na površini popustio tlak, ishlapila je ugljična kiselina, a oborio se aragonit. Mnogo se na taj način stvara aragonita i po vrućim vrelima u Karlovim Varima.

Za razvitak aragonita iz otopine kalcijuskoga bikarbonata gubitkom ugljične kiseline nije potrebna uvijek vruća voda. Iz salinično kisele vode Rogaške Slatine u Sloveniji izlučuje se kalcijski karbonat kao aragonit, ma da je temperatura kiselih izvora oko 10°. Čini se, da tu na razvitak rompske modifikacije djeluje magnezijski sulfat, koji se kao disocirano sutopilo nalazi u rogaškoj kiseloj vodi. Rogaški aragonit razvio se ili u formi vlaknastoj, sedrastoj ili u vrlo lijepim ovećim kristalima. Istoga će postanka biti i aragonit, što se nalazi medju sinjalcima u Sinjakovu u Bosni. Trošenjem sulfidnih ruda razvija se tamo sumporna kiselina, koja može da dodje u doticaj sa mineralima, u kojima je magnezija, pa će se tako stvoriti magnezijski sulfat. Kad se iz vodene otopine, koja prolazi kroz mineralno ležište u Sinjakovu, stane gubitkom ugljične kiseline izlučivati kalcijski karbonat, dolazi u doticaj magnezijuskoga sulfata, pa se tako razvije u rompskoj modifikaciji, kao aragonit. Aragonit se uopće rado razvija po željeznim rudnicima, gdje znade kadikad primiti granate forme. Obično te granate forme leže na podlozi koje željezne rude (na pr. u željeznim rudnicima Štajerske i Koruške), pa se pričinja, kao da rastu ili cvjetaju iz željezne rude; zato ih zovemo „željezni cvijet“.

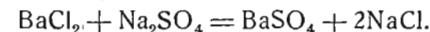
Ako se u vodi nalazi otopljen koji drugi bikarbonat, na pr. magnezijski, manganski, željezni, cinkani, olovni, stroncijski, barijski i t. d., razvit će se gubitkom ugljične kiseline magnezit, rodohrozit, siderit, smitsonit, cerusit, stroncijanit, viterit. Tako nalazimo na pr. u Ljubiji u Bosni na limonitima sitne bradavičaste crvene rodohrozite, koji su postali na pomenuti način.

3. *Izlučivanje minerala iz vodene otopine nestajanjem vode kao topila.* Ako je voda bila ono topilo, koje je neku mineralnu tvar držalo u otopljenom stanju, prijeći će mineralna tvar u čvrsto stanje, kada nestane topila, dakle vode. Na taj način mogu postati naročito neki sulfati. Po-

rudnicima gipsa u Samoborskoj Gori kod Ruda nalazimo kadikad krasnih primjeraka epsomita. On „cvjeta“ iz gipsa u formi tankih dugih svilenasto sivih vlaknaca i niti. Kao magnezijski sulfat nalazio se vrlo razrijeđen u vodenoj otopini; isparivanjem vode postala je otopina magnezijuskim sulfatom prezasićena i tada se počeo kristalizovati magnezijski sulfat kao epsomit. Po bakarnim rudnicima u Boru u Istočnoj Srbiji protiče voda, koja nosi znatne količine otopljenog bakarnoga sulfata. Gdje kroz pukotine u rudniku kaplje ili curi preko zidova, isparuje se i postaje bakarnim sulfatom sve koncentriranija; kad vodena otopina postane bakarnim sulfatom prezasićena, kristalizuje se on kao modra galica. Zato se po borskim rudnicima nalaze velike količine sige modre galice. Ako je u otopini bilo željeznoga sulfata, kristalizuje se isparivanjem vode zelena galica, koju takodjer možemo naći u borskom rudniku izmiješanu sa modrom galicom. Na jednaki način razvit će se iz vodene otopine lijepi kristali gipsa. Gusti ili zrnasti gips, koji je postao kristalizacijom iz otopine u morskoj vodi, otapa voda, pa kad se ona ispari, kristalizuje se gips ponovice, ali u vrlo lijepim i velikim kristalima, kakvih takodjer nalazimo u okolini Samobora.

Isparivanjem vode kao topila dolazi mjestimice do „cvjetanja“ kalsijske salitre, sode, glauberove soli. Kao vodene otopine nalaze se pomenute soli u tlu; izlazeći pri isparivanju vode iz tla kupe se po travi kao bijeli prah.

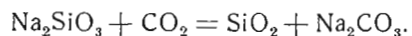
4. *Izlučivanje minerala iz vodene otopine djelovanjem međusobnih kemijskih reakcija.* Do nestajanja topila može da dodje najviše na površini Zemlje, gdje lako ishlapi i ugljična kiselina i voda. Ali mnogi minerali postaju iz vodenih otopina u dubinama Zemlje, u kamenoj kori, gdje su prilike za nestajanje topila posve nepovoljne. Kroz tu koru protiču vrlo razrijeđene mineralne otopine, iz kojih se razvijaju minerali na taj način, da različite mineralne tvari, koje su u vodi otopljene, stupe u međusobne kemijske reakcije. Na pr. neka negdje u kamenoj kori dodje u međusoban doticaj otopina barijskoga klorida  $BaCl_2$  i natrijskoga sulfata  $Na_2SO_4$ , doći će u tom slučaju izmedju obje otopljene soli do kemijske izmjene, pri kojoj će natrijski sulfat prijeći u lako topljivi natrijski klorid  $NaCl$ , a barijski klorid u barijski sulfat  $BaSO_4$ , koji se kao teško topljiva so kristalizuje i daje mineral barit:



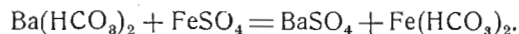
Pokusima je dokazano, da se iz mineralnih otopina, što su razrijeđenije i što polaganije stupaju u međusobne kemijske reakcije, kristalizuju minerali u sve većim i ljepšim kristalima; još se povećava kristalizaciona sposobnost mineralnih tvari povišenjem temperature. A baš takvi uvjeti i prilike vladaju u kamenoj kori: u njoj je viša temperatura, kroz nju protiču vrlo razrijeđene mineralne otopine, koje polaganom, upravo dugotrajnom difuzijom kroz sitne i uzane kapilare dolaze u međusobne kemijske reak-

cije; kroz vrlo dugo neograničeno vrijeme postaju iz njih novi kemijski spojevi, koji se polagano kristalizuju dajući lijepe kristale.

Po pukotinama silikatnih stijena naći ćemo kadikad razne minerale u vrlo lijepim kristalima; naročito su dosta česti kristali kremen, a nisu rijetki ni kristali kalcita i nekih zeolita. Među mineralima rudnih žila iz kristale kremen nalazimo i kristale barita. Da je kremen tako čest mineral u žilama ruda i kamenja, nije nikakovo čudo, kad uzmemo u obzir, da su stijene u glavnom izgrađene od silikatnih minerala, koje voda sa svojim pomagačima otapa i tako dolazi kremen u otopinu, iz koje će se međusobnim reakcijama raznih mineralnih tvari iskristalizirati kao kremen. Neka se na pr. nalazi u kori razrijeđena otopina alkalijeskoga silikata, na pr. natrijskoga silikata  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ; dodje li u doticaj sa slobodnom ugljičnom kiselinom, koje takodjer ima u vadoznoj i juvenilnoj vodi, razvit će se međusobna kemijska reakcija, pri kojoj će se osloboditi kremična kiselina  $\text{SiO}_2$ ; ona će se kristalizovati kao kremen, a natrijski silikat prijeći će u natrijski karbonat  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , koji je u vodi topljiv, pa će ga voda dalje da nosi:



Po rudnicima, na pr. u Bosni kod Vareša, pa nešto malo u Ljubiji, nalazimo u društvu željeznih ruda (siderita i limonita, koji je postao metamorfozom iz siderita) kremen i barit. Ti su minerali mogli postati iz vodene otopine na taj način, da je otopina barijskoga hidrokarbonata  $\text{Ba}(\text{HCO}_3)_2$  došla u doticaj otopljenoga željeznoga sulfata  $\text{FeSO}_4$ , pa je došlo do kemijske izmjene, pri kojoj se razvio teško topljivi barijski sulfat  $\text{BaSO}_4$  kao barit, a željezni je sulfat prešao u lako topljivi željezni hidrokarbonat  $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ :



Željezni hidrokarbonat u doticaju sa natrijskim silikatom  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  može prijeći u siderit  $\text{FeCO}_3$ , pri čemu će se osloboditi kremična kiselina; ona se iskristalizuje kao kremen, a natrijski silikat prelazi u topljivi natrijski karbonat:



Mnogi minerali, što ih nalazimo po pukotinama stijena, mogli su postati na pomenuti način, a naročito rudne žile, gdje se okupljaju napose razni sulfidni minerali. Materijal za razvitak rudnih žila mogao je dospjeti u pukotine kamenja na različit način. Budući da se mnoge rudne žile nalaze u domašaju eruptivnih stijena ili u njima samima, ili uz velike rasjeline, gotovo je sigurno, da je njihov mineralni materijal donijela voda iz dubina Zemljinih. Pri intruziji magme, znamo, da dolazi do ekshalacija, pri kojima izlazi iz magme i velika količina vode. Dakako da to nije čista voda, nego je u njoj otopljeno raznih mineralnih tvari; ima u njoj i sulfida, s kojima putuje po kamenjoj kori, gdje, budući da je jako vruća, otapa razne

mineralne sastavke stijena, pa i na taj način prima u sebe mineralne tvari, koje se u zgodnim prilikama djelovanjem međusobnih kemijskih reakcija izlučuju kao minerali. Pošto su takvi minerali postali djelovanjem vrućih otopina, velimo, da su se razvijali uz *hidrotermalne*<sup>1)</sup> procese. Njihova je mineralna tvar dospjela u kamenu koru dizanjem ili *ascenzijom*<sup>2)</sup> vrućih otopina iz dalekih dubina Zemlje.

Ako je vadozna voda iz gornjih dijelova kamene kore donijela mineralni materijal za razvitak mineralnih žila, velimo da je taj dospio u pukotine stijena *descenzijom*<sup>3)</sup>. Ali voda otapa minerale, koji se nalaze kao sastavci stijena u okolini pukotine. Pomalo ih otapa i nosi otopljeni materijal u pukotine; za mineralne otopine, koje potiču iz susjednih stijena, velimo, da su postale t. zv. *lateralnom sekrecijom*<sup>4)</sup>.

*5. Izlučivanje minerala iz vodene otopine sudjelovanjem životinja.* Kod izlučivanja minerala iz vodenih otopina mogu biti od važnosti i neki *organizmi*, pa ima minerala, koji kadikad zahvaljuju svoj postanak samo živim bićima, biljci i životinji. Grdne one naslage naših krečnjačkih gora, što se prostiru od Triglava do Albanije, razvile su se saradnjom sitnih organizama. Sve su te krečnjačke stijene postale u moru. No da li su postale neposredno kristalizacijom iz otopine kalcijeskoga karbonata? Znamo, da rijeke nose u more silne mase kalcijeskoga karbonata (926 milijona tona godišnje). Pa ako pogledamo kemijske analize morske vode, opazit ćemo, da je u moru vrlo malo kalcijeskoga karbonata. Kamo je nestao? Na to ćemo pitanje lako odgovoriti, ako se sjetimo, da u moru živi silan svijet, koji za svoj opstanak, za izgradnju svoga organizma, bezuvjetno treba velike količine kalcijeskoga karbonata. Tu su dakako u prvom redu životinje (neki protozoi, školjkaši, glavonošci, puževi, brahiopodi i t. d.), a ponešto i biljke, koje troše kalcijski karbonat, pa druge kalcijске soli (sulfat) pretvarajući ih u kalcijski karbonat. Od toga kalcijeskoga karbonata sagradile su sebi mnoge životinje ili ljušturicu ili školjku ili kućicu i t. d., pa kad su uginule, sagnjila je njihova organska tvar, a ostali su oni dijelovi, koji su sastavljeni od kalcijeskoga karbonata; valovi mora poigravaju se s njima, lome ih i krše u sitno trunje, koje kao mulj pada na dno mora, gdje se sve više gomila stvarajući malo pomalo debele naslage. Naslage toga mulja, što je sastavljen od kalcijeskoga karbonata, nalaze se u vodi pod velikim tlakom, te se sve više otapaju kristalizujući se uz povoljne uvjete ponovice kao kalcijski karbonat. Tako posredovanjem životinja postaju većinom krečnjačke naslage.

Kalcijski karbonat, što postaje u moru na pomenuti način, izlučuje se, kako su to pokazala istraživanja *G. Lincka*, kao rompska modifikacija,

<sup>1)</sup> Od grč. *hýdor*, voda i *thermós*, vruć. <sup>2)</sup> Od lat. *ascéndere*, dizati se. <sup>3)</sup> Od lat. *descéndere*, spuštati se.

<sup>4)</sup> Od lat. *lateralis*, pobočan i *secretio*, izlučivanje.

dakle kao aragonit, a ne kao kalcit. *Linck* je naime djelujući natrijskim i amonijskim karbonatom na morsku vodu oborio iz nje kalcijski karbonat u formi aragonita, pa zaključuje, da se na taj način izlučuje i u moru, gdje na kalcijski sulfat djeluje natrijski i amonijski karbonat, koji postaju iz bjelančevine što izmjenom tvari, što trulenjem. Jedan bi dio kalcijskoga karbonata prema *Linckovim* pokusima mogao postati direktno iz morske vode, a drugi dio poticao bi od anorganskih ostataka životinja, u kojima se također nalazi kao aragonit. Kako je aragonit nepostojana monotropna modifikacija (109), prelazi tokom vremena u postojanu modifikaciju, u kalcit, pa su krečnjaci sastavljeni samo od kalcita.

Sudjelovanjem organizama može se izlučiti kalcijski karbonat i iz slatkovodnih otopina, kako smo to napomenuli, govoreći o postojanju sedre i travertina; taj posao obavljaju vodene biljke, neke mahovine, alge i dijatomeje (str. 529).

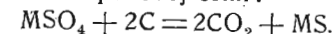
Ima u vodi nekih alga, dijatomeja i spužvi (sundjera), koje ne mogu da žive bez kremične kiseline; ona im je potrebna za izgradnju nekih dijelova njihova tijela. Kad takve biljke ili životinje uginu, istrune njihova organska tvar, a ostaju anorganski dijelovi, koji su sastavljeni od kremične kiseline i talože se većinom kao opalna tvar. Na taj je način postao kremeni lapor, t. zv. tripoli, koji nalazimo u velikim količinama u okolici zagrebačkoj kod Vrapča i Podsuseda. On je pretežito sastavljen od ljušturica dijatomeja, koje su u tercijarno doba živjele u moru, što se prostiralo podno Zagrebačke Gore. Ljušturice su sastavljene od kremične kiseline, koja je koloidna.

Neke alge i mahovine žive i u vrućoj vodi, u kojoj ima kremične kiseline. Njih ćemo naći po vrućim gejzirskim vrelima, gdje iz vode odumiraju kremičnu kiselinu tako, da gejzerit nije postao samo padanjem tlaka i temperature i isparivanjem vode, nego najvećim dijelom životnim procesima nekih alga i mahovina. Goleme terase kremene cjedine (gejzerita), što se nalaze u Yellowstone-Parku, postale su najviše sudjelovanjem alga i mahovina, koje su iz vode izlučile kremičnu kiselinu.

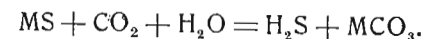
I one grude kremena kresivca, što ih nalazimo po nekim našim krečnjacima, postale su sudjelovanjem morskih spužvi, koje su iz vode crpale kremičnu kiselinu; spužve su uginule, njihova organska tvar sagnijala je, a ostala je kremična kiselina, koja se kao kremen kresivac sabrala u grudama po krečnjaku.

U vodama, u kojima ima otopljenih željeznih soli, živi neka alga (*Gallionella ferruginea*), koja uzima iz vode željezne soli i pretvara ih u željezni hidroksid. Kad alge uginu, ostaje iza njih željezni hidroksid nakupljajući se po močvarnim livadama i ledinama kao limonit ili t. zv. močvarna, livadna željezna ruda.

Veliku važnost imaju neke alge i bakteriji pri razvitku sumpora. On će se razviti oksidacijom sumpornoga vodika, kako smo to vidjeli kod vulkanskih ekshalacija (str. 509.); ali taj sumporni vodik ne mora biti ni u kakvoj vezi sa vulkanskim pojavama; njega stvaraju bakteriji gnjilenja. Kada se djelovanjem pomenutih bakterija raspada bjelančevina, razvija se iz njenoga sumpora (u bjelančevini ima sumpora 0,3—2,5%) sumporni vodik. Jedni bakteriji mogu reducirati sulfate u sulfide, a ti u doticaju sa vodom daju sumporni vodik. Po shvatanju *Murray-a* i *Irvine-a* vrši se taj proces tako, da ugljik protoplazme bakterija oduzima od sulfata kisik; reducira ih i pretvara u sulfide po ovoj šemi:



Sulfid MS u doticaju ugljične kiseline i vode raspada se i dolazi do tvorbe sumpornoga vodika i karbonata:



Na taj način postaje u prirodi velika količina sumpornoga vodika, koji se nalazi u nekim vodama, na pr. u vodi Vajsovoga jezera u Harkovskoj guberniji u Rusiji, gdje je *Nadson* našao u jednoj litri vode:

iz dubine od 16 m .....	5,91 ccm H <sub>2</sub> S
„ „ „ 18,1 m .....	88,31 „ „
„ „ „ 18,7 m .....	184,96 „ „

I u vodi Crnoga Mora ima znatna količina sumpornoga vodika; po podacima *Lebedinceva* ima u jednoj litri vode:

iz dubine od 213 m .....	0,33 ccm H <sub>2</sub> S
„ „ „ 427 m .....	2,22 „ „
„ „ „ 2026 m .....	5,55 „ „
„ „ „ 2528 m .....	6,55 „ „

U dubljim dijelovima i Vajsovoga jezera i Crnoga Mora sadrži voda mnogo više sumpornoga vodika negoli u dijelovima prema površini. Otкуда taj sumporni vodik? On je mogao postati ili redukcijom sulfata djelovanjem protoplazminoga ugljika, ili djelovanjem bakterija gnjilenja na bjelančevinu. Na ovaj posljednji način objašnjava se postanak sumpornoga vodika u vodi Crnoga Mora. Smrću životinja kupi se na dnu morskom sva sila bjelančevine. Na njoj žive anaerobni bakteriji, rastvaraju je u gnjilež, pri čemu se razvija iz sumpora u bjelančevini sumporni vodik.

Gomilanje sumpornoga vodika u dubinama Crnoga Mora tumači *Andrusov* na taj način, što uzima, da u raznim dubinama ne postoji cirkulacija ili kružni tok vode u vertikalnom smjeru, pa zbog toga ne dolazi u dubine Crnoga Mora kisik, koji je potreban za život organizama. U dubinama Crnoga Mora zbog velikih količina sumpornoga vodika i zbog nedostatka kisika nema živa stvora, osim anaerobnih bakterija, kojima je za opstanak dovoljna bjelančevina uginulih životinja.

dakle kao aragonit, a ne kao kalcit. *Linck* je naime djelujući natrijskim i amonijskim karbonatom na morsku vodu oborio iz nje kalcijski karbonat u formi aragonita, pa zaključuje, da se na taj način izlučuje i u moru, gdje na kalcijski sulfat djeluje natrijski i amonijski karbonat, koji postaju iz bjelančevine što izmjenom tvari, što trulenjem. Jedan bi dio kalcijskoga karbonata prema *Linckovim* pokusima mogao postati direktno iz morske vode, a drugi dio poticao bi od anorganskih ostataka životinja, u kojima se takodjer nalazi kao aragonit. Kako je aragonit nepostojana monotropna modifikacija (109), prelazi tokom vremena u postojanu modifikaciju, u kalcit, pa su krečnjaci sastavljeni samo od kalcita.

Sudjelovanjem organizama može se izlučiti kalcijski karbonat i iz slatkovodnih otopina, kako smo to napomenuli, govoreći o postajanju sedre i travertina; taj posao obavljaju vodene biljke, neke mahovine, alge i dijatomeje (str. 529).

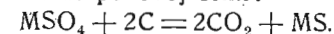
Ima u vodi nekih alga, dijatomeja i spužvi (sundjera), koje ne mogu da žive bez kremične kiseline; ona im je potrebna za izgradnju nekih dijelova njihova tijela. Kad takve biljke ili životinje uginu, istrune njihova organska tvar, a ostaju anorganski dijelovi, koji su sastavljeni od kremične kiseline i talože se većinom kao opalna tvar. Na taj je način postao kremeni lapor, t. zv. tripoli, koji nalazimo u velikim količinama u okolici zagrebačkoj kod Vrapča i Podsuseda. On je pretežito sastavljen od ljušturica dijatomeja, koje su u tercijarno doba živjele u moru, što se prostiralo podno Zagrebačke Gore. Ljušturice su sastavljene od kremične kiseline, koja je koloidna.

Neke alge i mahovine žive i u vrućoj vodi, u kojoj ima kremične kiseline. Njih ćemo naći po vrućim gejzirskim vrelima, gdje iz vode oduzimaju kremičnu kiselinu tako, da gejzerit nije postao samo padanjem tlaka i temperature i isparivanjem vode, nego najvećim dijelom životnim procesima nekih alga i mahovina. Goleme terase kremene cjedine (gejzerita), što se nalaze u Yellowstone-Parku, postale su najviše sudjelovanjem alga i mahovina, koje su iz vode izlučile kremičnu kiselinu.

I one grude kremena kresivca, što ih nalazimo po nekim našim krečnjacima, postale su sudjelovanjem morskih spužvi, koje su iz vode crpale kremičnu kiselinu; spužve su uginule, njihova organska tvar sagnjila je, a ostala je kremična kiselina, koja se kao kremen kresivac sabrala u grudama po krečnjaku.

U vodama, u kojima ima otopljenih željeznih soli, živi neka alga (*Gallionella ferruginea*),<sup>3</sup> koja uzima iz vode željezne soli i pretvara ih u željezni hidroksid. Kad alge uginu, ostaje iza njih željezni hidroksid nakupljajući se po močvarnim livadama i ledinama kao limonit ili t. zv. močvarna, livadna željezna ruda.

Veliku važnost imaju neke alge i bakteriji pri razvitku sumpora. On će se razviti oksidacijom sumpornoga vodika, kako smo to vidjeli kod vulkanskih ekshalacija (str. 509.); ali taj sumporni vodik ne mora biti ni u kakvoj vezi sa vulkanskim pojavama; njega stvaraju bakteriji gnijljenja. Kada se djelovanjem pomenutih bakterija raspada bjelančevina, razvija se iz njenoga sumpora (u bjelančevini ima sumpora 0,3—2,5%) sumporni vodik. Jedni bakteriji mogu reducirati sulfate u sulfide, a ti u doticaju sa vodom daju sumporni vodik. Po shvatanju *Murray*-a i *Irvine*-a vrši se taj proces tako, da ugljik protoplazme bakterija oduzima od sulfata kisik; reducira ih i pretvara u sulfide po ovoj šemi:



Sulfid MS u doticaju ugljične kiseline i vode raspada se i dolazi do tvorbe sumpornoga vodika i karbonata:



Na taj način postaje u prirodi velika količina sumpornoga vodika, koji se nalazi u nekim vodama, na pr. u vodi Vajsovoga jezera u Harkovskoj guberniji u Rusiji, gdje je *Nadson* našao u jednoj litri vode:

iz dubine od 16 m .....	5,91 ccm H <sub>2</sub> S
" " " 18,1 m .....	88,31 " "
" " " 18,7 m .....	184,96 " "

I u vodi Crnoga Mora ima znatna količina sumpornoga vodika; po podacima *Lebedinceva* ima u jednoj litri vode:

iz dubine od 213 m .....	0,33 ccm H <sub>2</sub> S
" " " 427 m .....	2,22 " "
" " " 2026 m .....	5,55 " "
" " " 2528 m .....	6,55 " "

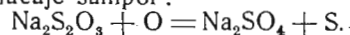
U dubljim dijelovima i Vajsovoga jezera i Crnoga Mora sadrži voda mnogo više sumpornoga vodika negoli u dijelovima prema površini. Otкуда taj sumporni vodik? On je mogao postati ili redukcijom sulfata djelovanjem protoplazminoga ugljika, ili djelovanjem bakterija gnijljenja na bjelančevinu. Na ovaj posljednji način objašnjava se postanak sumpornoga vodika u vodi Crnoga Mora. Smrcu životinja kupi se na dnu morskom sva sila bjelančevine. Na njoj žive anaerobni bakteriji, rastvaraju je u gnijlež, pri čemu se razvija iz sumpora u bjelančevini sumporni vodik.

Gomilanje sumpornoga vodika u dubinama Crnoga Mora tumači *Andrusov* na taj način, što uzima, da u raznim dubinama ne postoji cirkulacija ili kružni tok vode u vertikalnom smjeru, pa zbog toga ne dolazi u dubine Crnoga Mora kisik, koji je potreban za život organizama. U dubinama Crnoga Mora zbog velikih količina sumpornoga vodika i zbog nedostatka kisika nema živa stvora, osim anaerobnih bakterija, kojima je za opstanak dovoljna bjelančevina uginulih životinja.

Pošto uz neprestano radjanje životinja teče i njihova smrt, to se neprestano djelovanjem bakterija gnjilenja i anaerobnih bakterija razvija sumporni vodik. I on bi se napokon nagomilao u tolikoj količini, da bi u takvoj sumpornovodičnoj vodi bio nemoguć život svakom stvoru. Ali i tu vlada ravnoteža, harmonija; sumporni vodik dolazi u doticaj kisika, oksidira se, pri čemu se stvara sumpor. Uz taj kemijski proces, koji se vrši svuda u prirodi, gdje sumporni vodik dodje u doticaj sa kisikom, ima još jedan kemijski proces, koji će dovesti do raspadanja sumpornoga vodika. I taj je proces vezan za oksidaciju sumpornoga vodika, ali ga ne obavlja kisik uzduha, nego neki bakteriji, kojima je za njihov opstanak potrebit sumpor, kao što je drugim stvorovima potreban kisik. To su t. zv. *sumporni bakteriji* (*Beggiatoa alba*, *Chromatium Okeini* i dr.), koji bez sumpora ne mogu da žive. Pa dok drugi bakteriji imaju sposobnost da reakcijom stvaraju sumporni vodik, sumporni bakteriji imaju sposobnost da oksidacijom taj sumporni vodik razore. Ruski prirodnjaci *Jegunov*, *Sidorenko* i *Sokolov* dokazali su, da sumporni bakteriji sakupljaju u svojoj protoplazmi kapljice sumpora, koji se tu oksidira i tom oksidacijom stvara potrebitu životnu energiju bakterija. *Vinogradski* je svojim istraživanjima dokazao, da sumporni bakteriji mogu oksidirati sumporni vodik, a sumpor, koji se pri tom odvađa, pohranjuju u svojim stanicama u formi poput ulja mekih kuglica. Nakon smrti bakterija prelaze te uljevite kuglice u kristalasti sumpor. U stanicama sumpornih bakterija razvija se dakako sumporna kiselina, pa da ta ne naškodi životu bakterija, primaju u sebe karbonate, koji neutrališu sumpornu kiselinu na taj način, da prelaze u sulfate. Tako stvoreni sulfati budu djelovanjem organske tvari ili djelovanjem redukcionih bakterija reducirani u sulfide, koji se na poznati način raspadaju u sumporni vodik, a taj opet troše sumporni bakteriji; dolazi do cirkulacije ili kružnoga toka sumpora. Ako sumpornim bakterijama oduzmemo sumporni vodik, oksidiraju za 1—2 dana sumpor, što su ga pohranili u svojim stanicama i tada zbog nedostatka sumpora uginu.

Sumporne bakterije nalazimo gotovo u svim sumpornim vrelima, ali i u onim vodama i muljevima, gdje se truljenjem bjelančevine ili redukcijom sulfata u sulfide razvija sumporni vodik. Kako je za njihov život potreban sumporni vodik i kisik, moraju da žive u onim predjelima, kamo mogu da dodju oba pomenuta plina.

Ima još jedna grupa bakterija, t. zv. bakteriji tijoske kiseline; oni mogu da oksidiraju tijosulfate u tetratijonsku kiselinu i u sumpornu kiselinu, a pri tome se izlučuje sumpor:

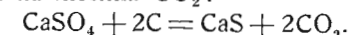


Minerale, koji su postali uz saradnju organizama, zovemo *organogenima*;<sup>1)</sup> ako su organogeni minerali postali uz saradnju životinja, zo-

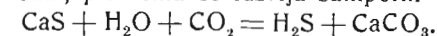
<sup>1)</sup> Od grč. *órganon*, orudje i *génésis* postanak.

vemo ih *zoogenima*;<sup>2)</sup> ako su postali saradnjom biljki, zovemo ih *fitogenima*.<sup>2)</sup>

6. *Izlučivanje minerala iz vodene otopine djelovanjem procesa gnjilenja organskih tvari.* Gnjilenje ili raspadanje organske tvari nije ništa drugo nego niz kemijskih procesa, pri kojima se pojedini sastavci pomenute tvari (C, H, N) oksidiraju, oduzimajući posredstvom bakterija svojoj okolini kisik; ako je ta okolina uzduh, oduzimaju kisik iz uzduha; nema li u neposrednoj blizini uzduha, oduzet će kisik mineralima, u kojima ga ima, a s kojima je organska tvar u neposrednoj blizini. Bez bakterija i kisika nema raspadanja organske tvari. Dodje, li na. pr. ugljik u doticaj sa gipsom  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , koji se nalazi na mjestu, kamo ne može priticati uzduh, oduzimat će ugljik iz gipsa kisik; oksidirat će se reducirajući sulfat i pri tom će prijeći u ugljičnu kiselinu  $\text{CO}_2$ :

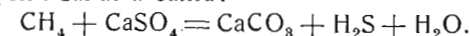


Kalcijski je sulfid lako topljiv u vodi, pa u doticaju ugljične kiseline prelazi u karbonat, pri čemu se razvija sumporni vodik:



Iz toga sumpornoga vodika može oksidacijom, kako znamo, postati sumpor, pa se za mnoga važna sumporna ležišta misli, da su postala redukcijom gipsa i oksidacijom sumpornoga vodika, koji je postao pri redukciji gipsa. Takva su ležišta sumpora na Siciliji, ležište sumpora u našim krajevima kod Radoboja kraj Krapine u Hrvatskoj i dr. Mnoga sumporna vrela (Varaždinske Toplice, Ilidža, Koviljača i t. d.) dobivaju svoj sumporni vodik takodjer na pomenuti način.

*Hoppe-Seyler* tumači redukciju sulfata djelovanjem metana  $\text{CH}_4$  in statu nascendi. On je pokusima pokazao, da pri vrienju celuloze postaje metan, koji reducira sulfat u sulfid:



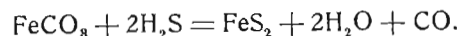
Za redukciju sulfata u sulfide ima u prirodi dovoljno prilika: ili negdje trune organska tvar, koje ugljik obavlja redukciju, ili destilacijom bituminoznih sedimenata i naslaga uglja dolazi do razvitka metana, koji takodjer reducira sulfate u sulfide.

Da su mnoga sumporna ležišta postala redukcijom gipsa, zaključujemo i po tome, što se redovito u njihovu domašaju nalaze naslage gipsa i bituminozni sedimenti (na pr. na Siciliji, u Galiciji, Elzasu, Louisiani i dr.). Na pomenuti način postao je i onaj sumpor, što ga nalazimo kod nas po naslagama gipsa kod Suvaje u Lici.

Dakako da će pri raspadanju organske tvari postati i oni sulfidi, koji su u vodi teško topljivi. Redukcijom na pr. željeznoga sulfata razvija se pirit i markazit; ali oba ta minerala mogu postati iz otopljenih željeznih:

<sup>1)</sup> Od grč. *zóon*, životinja. <sup>2)</sup> Od grč. *phytón* biljka.

soli, na pr. iz otopine željeznoga karbonata djelovanjem sumpornoga vodika:



Pošto su željezne soli, ma i u najmanjim količinama, u vodi redovite, jasno je, da su prilike za razvitak pirita ili markazita u prirodi vrlo povoljne. Gdje god trune organska tvar, razvija se sumporni vodik i obara iz otopine željezne soli željezni sulfid; gdje trune organska tvar uz nedovoljan pristup zraka, reducira željezni sulfat. Nije zato nikakovo čudo, da ćemo pirit ili markazit naći gotovo u svakoj taložnoj stijeni, a naročito po fosilnom uglju, gdje su bile osobito povoljne prilike za pomenuti način postajanja pirita ili markazita.

Ako je u vodi bila otopljena koja druga so, cinkana, olovna, bakarna i t. d., mogla je prijeći ili redukcijom ili obaranjem sa sumpornim vodikom u sulfid, pa je tako došlo do razvitka sfalerita  $\text{ZnS}$ , galenita  $\text{PbS}$  i bakarnih sulfida (halkopirita, halkozina i bornita). Takav se proces stvaranja sulfidnih ruda može kadikad posmatrati u rudnicima. Po starim napuštenim rovovima trune drvo, što je kao balvan ili potporanj služilo u rovovima; pri truljenju drveta razvija se sumporni vodik. Ako rovom protiče voda, u kojoj ima otopljenih soli (olovnih, cinkanih, bakarnih, željeznih i t. d.), oborit će sumporni vodik otopljene soli kao sulfide. Ali pri truljenju drveta po rovovima može doći i do redukcije sulfata u sulfid, pa će i na taj način moći da se razvije galenit, sfalerit, pirit, halkopirit i t. d.

Zanimljivo je *Daubrée-ovo* tumačenje postajanja halkopirita, halkozina i bornita, koji se nalaze na starom rimskom brončanom posudju i novcu po termama kod Plombières-a, Bourbonne les Bains. Truljenjem organske tvari reduciraju se alkalijski sulfati u sulfide, koji se raspadaju u vodi i daju sumporni vodik; sumporni vodik djeluje na bakar pretvarajući ga u sulfid. Taj proces mora da vrlo polako teče, jer su se bakarni sulfidi razvili djelomice u vrlo lijepim kristalima.

Od samorodnih metala čini se, da može redukcijom pri truljenju drveta postati bakar; njega nalaze kadikad po rovovima bakarnih rudnika, gdje se sabrao na trulim balvanima; vjerojatno, da je postao redukcijom iz bakarnog sulfata.

Destilacijom organskih tvari postaje nafta (petrolej, zemno ulje). Organsku tvar daju životinje, koje nakon smrti nose morske struje i talože ih u velikim količinama na istom mjestu. Tu budu prekrivene muljem, koji zaprječuje pristup uzduha, pa se ne mogu nikako oksidirati. Tokom dugoga geološkoga vremena dodju pod debele naslage taložnih stijena, budu izvrgnute velikom tlaku i znatnoj temperaturi, pa se iz njihove masti destilacijom razvije ulje ili nafta. To je tumačenje *C. Englera*, komu je uspelo da uz tlak i temperaturu pretvori mast u ulje. On je izvrkao veće količine

masti tlaku od 20—25 atmosfera kod temperature od 365—420° i mast se pretvorila u ulje, koje je bilo sastavljeno od istih sastavaka kao i zemno ulje, nafta. Nafti je po postanku sličan asfalt ili bitumen, koji je takodjer postao od masti izumrlih životinja.

Iz smole četinjača razvili su se neki čvrsti ugljovodici, fosilne smole, na pr. jantar ili čilibar (sukcinit) i dr. Iz drveta potiče i oksalna kiselina, koja je potrebna za razvitak juvelita (whewelita), kalcijeskoga oksalata  $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  i humboltina (oksalita) željeznoga oksalata  $\text{FeC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Isto tako potiče iz drveta i melitna kiselina, koja sa aluminijem, stvara mineral melit  $\text{Al}_2\text{C}_{12}\text{O}_{12} \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ .

*7. Izlučivanje minerala iz vodene otopine djelovanjem električnih struja.* Način pojavljivanja nekih minerala u prirodi govori, da bi mogli postati uz elektrolitične procese djelovanjem električnih struja. Tako se na pr. pojavljuje kadšto samorodni arsen po rudnim žilama, gdje leži prirastao na galenitu ili diskrazitu, koji u tom slučaju nisu nikad svježiji. Tumačimo postanak toga arsena kao posljedicu elektrolitičnih procesa. Kad se naime dva minerala, koji su dobri vodiči električne struje, na jednom kraju medju sobom dodiruju, a na drugom kraju odvojeno strše u prostor, u kom se nalazi tekućina sa nekim elektrolitom, razvija se u tekućini električna struja, koja dovodi do kemijskih promjena. Po rudnim žilama možemo vrlo često naći baš tako izrasle minerale; leže na zajedničkoj podlozi, na kojoj se medjusobno dodiruju, a onda što dalje od podloge, sve se više udaljuju jedan od drugoga. Ako su takvi minerali vodiči električne struje i ako u rudnu žilu dospije voda sa elektrolitima tako, da su minerali sa svojim odvojenim krajevima u otopini, razvija se u njoj električna struja; pri tom se vrše neke kemijske promjene, koje uvjetuju razvitak novih minerala.

Od minerala, koji su dobri vodiči električne struje, ističu se naročito sulfidi, na pr. pirit, markazit, halkopirit, halkozin, bornit, galenit, smaltin, lelingit, arsenopirit, kobaltin, pirotin, nikelin, diskrazit, sinjavac; od oksida željezni sjajnik, piroluzit, magnetit; od elemenata grafit.

Poput samorodnoga arsena, mogu postati elektrolitičkim procesima samorodni antimon i bizmut pa alemontit. Negdje se može naći svježih kristala markazita, koji leže na rastrošenu galenitu, po čemu zaključujemo na elektrolitični postanak markazita; isto tako su postale elektrolitičnim putem svježe prevlake halkopirita, koje su prevučene preko rastrošena sinjavca. Po rudnim žilama nalazimo zlato ili u tankim pločicama ili u dendritičkim formama, po čemu zaključujemo, da je postalo elektrolizom iz vodene otopine, budući da u isto takvim formama možemo dobiti iz otopine pri laboratorijskim pokusima neke metale. Redukcija zlata pri elektrolitičkim procesima vrši se uz oksidaciju onih minerala, u kojima se prije nalazilo. Tako se pojavljuje zlato u društvu limonita, koji je postao oksidi-

dacijom pirita. Po neki diskraziti, bizmutiti, sinjavci i t. d. mogu postati također elektrolitički.

8. *Izlučivanje minerala iz slanih jezera.* Mineralne tvari, koje se nalaze otopljene u morskoj vodi, predstavljaju izmiješane otopine. Do njihove će kristalizacije doći, kad nestane onoga topila, koje ih je držalo u otopljenu stanju. A to je topilo voda. Isparivanjem postaje morska voda mineralnim tvarima sve zasićenija, pa kad bude njima prezasićena, početi će se one kristalizovati.

Kojim će se slijedom početi mineralne tvari iz vode izlučivati, zavisi o njihovoj topljivosti u izmiješanim otopinama. Topljivost je zavisna, kako znamo, o temperaturi i tlaku. No osim temperature i tlaka utiče na topljivost i sastav otopine; uvijek je topljivost neke soli u otopini druge soli drugačija od topljivosti u čistoj vodi. S obzirom na topljivost soli u otopinama raznoga sastava, postavio je *W. Nernst* ova pravila:

a). Ako se u otopini nalazi neka so, pa joj dodamo drugu so, koja ima s njom jedan ion zajednički, njezina će topljivost pasti. Tako se na pr. u 100 dijelova vode kod temperature od  $18,8^{\circ}$  otapa od natrijskoga klorida  $\text{NaCl}$  36 dijelova, a od kalijeskoga klorida  $\text{KCl}$  34,3 dijela; ako su u otopini izmiješani kalijski i natrijski klorid, njihova će topljivost pasti, pošto imaju zajednički ion  $\text{Cl}^{-}$ , pa će se od natrijskoga klorida otopiti 29,9 dijelova, a od kalijeskoga klorida samo 15,7 dijelova. Isto će tako pasti topljivost, na pr. kalijskom kloratu  $\text{KClO}_3$ , ako dodamo njegovoj zasićenoj otopini nešto malo natrijskoga klorata  $\text{NaClO}_3$  (zajednički ion  $\text{ClO}_3^{-}$ ) ili koje druge kalijске soli (zajednički ion  $\text{K}^{+}$ ); kalijski klorat, koji se u zasićenoj otopini nalazi još u otopljenu stanju, početi će pridodatkom pomenutih soli da se naglo izlučuje.

*Nernst* tumači tu pojavu tako, da uzima, kako zasićena otopina nekoga elektrolita nije potpuno disocirana, nego da se uz disocirane čestice (ijonte) nalaze u njoj i električno neutralne molekule; koncentracija će takve otopine ostati nepromijenjena i onda, ako joj dodamo drugih tvari, koje s njom nemaju nijedan ion zajednički. Ali ako joj dodamo neku tvar jednakoga ijonta, umanjiti će se elektrolitu disocijacija, pa će se u otopini povećati količina električno neutralnih molekula, a tim će se poremetiti ravnoteža, koja je postojala u zasićenoj otopini elektrolita. Da se ravnoteža opet postigne, izlučiti će se jedan dio elektrolita, t. j. pala mu je topljivost.

Od ovoga pravila odstupaju oni elektroliti, koji pri sastanku u otopini stvaraju kompleksne ijonte. Tako je na pr. topljivost živinoga jodida  $\text{HgJ}_2$  mnogo veća u otopini kalijeskoga jodida  $\text{KJ}$  negoli u vodi, pošto se stvaraju ijonti  $\text{HgJ}_4^{2-}$ , koji su vrlo čvrsto vezani. Zbog toga može postojati u otopini tek vrlo malo slobodnih ijonta  $\text{Hg}^{2+}$  i  $\text{J}^{-}$ . Topljivost će se živinoga jodida  $\text{HgJ}_2$  povećati, kada dodamo otopini veću količinu žive; u otopini će se tada nalaziti ijonti  $\text{HgJ}_4^{2-}$  i nedisocirane molekule  $\text{K}_2\text{HgJ}_4$ . Poput

kalijeskoga i živinoga jodida ponaša se kalijski i olovni nitrat. U 100 dijelova vode uz temperaturu od  $21,2^{\circ}$  otapa se od  $\text{KNO}_3$  32,6 dijelova, a od  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  53,3 dijela; iz smjese obih soli otapa se 67,1 dijela  $\text{KNO}_3$  i 119,6 dijelova  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ . Isto se tako povećava topljivost kalijskom sulfatu djelovanjem sumporne kiseline, živinom kloridu djelovanjem natrijskoga klorida, aluminijskome hidroksidu djelovanjem kalijeskoga hidroksida i t. d.

b). Ako se u otopini nalazi neka so, pa joj dodamo drugu, koja s njom nema nijedan zajednički ion, njena će topljivost porasti. Dodamo li na pr. otopini srebrna bromata nešto malo kalijeskoga nitrata, razvit će se u otopini neka količina molekula srebrna nitrata i kalijeskoga bromata; posljedica će toga biti opadanje količine molekula srebrna bromata, koje će morati biti nadomještene od čvrste soli; srebrnom bromatu raste dakle topljivost dodavanjem kalijeskoga nitrata.

Budući da se u morskoj vodi nalaze otopljene vrlo različite mineralne soli, bit će i način njihove kristalizacije zavisan o kemijskom sastavu otopine. Uz koje se uvjete razvijaju minerali iz otopine, objasnio je *J. H. van't Hoff*, koji je sa svojim učenicima sintetičkim putem priredio iz morske vode čitav niz spojeva, koji su jednaki mineralima, što postaju u prirodi iz morske vode. Njegovi i njegovih učenika sintetički radovi, s kojima su bili zaokupljeni kroz punih 12 godina, objasnili su način kristalizacije minerala iz morske vode tako, da su danas poznati i zakoni, po kojima se vrši ta kristalizacija. Iz *van't Hoff*-ovih pokusa vidi se, da kristalizacija minerala iz morske vode teče slično kristalizaciji minerala iz magme. Kako je u magmi poticaj za kristalizaciju dala temperatura, tako će u morskoj vodi dati poticaj za kristalizaciju minerala isparivanje vode (topila). Ali kako način kristalizacije minerala iz magme nije stajao do same temperature, nego do omjera mineralnih komponenata u magmi, tako i način kristalizacije iz morske vode ne će stajati samo do isparivanja topila (vode), nego i do omjera mineralnih komponenata u morskoj vodi. Kako se postepenom kristalizacijom postepeno mijenja kemijski sastav magme te ona postaje sve bogatija kremičnom kiselinom  $\text{SiO}_2$ , tako se i pri kristalizaciji minerala iz morske vode mijenja njezin kemijski sastav; postaje sve bogatija magnezijским kloridom  $\text{MgCl}_2$ . U magmi, na pr. granitskoj, konačni je produkt kristalizacije kremen, a u morskoj vodi konačni je produkt kristalizacije bišofit  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , pošto otopina pri kraju kristalizacije, kako je to dokazao *van't Hoff*, sadrži 7,62 bišofita uz 0,15 kamene soli  $\text{NaCl}$ , 0,38 kizerita  $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  i 0,08 karnalita  $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Magma je pretežito silikatna otopina, pa se iz nje razvijaju pretežito silikatni minerali; morska voda sadrži pretežito otopljene sulfate i kloride, pa će se iz nje razviti pretežito kloridni i sulfatni minerali.

Da dobijemo sliku o načinu kristalizacije minerala iz morske vode, navest ćemo neke jednostavnije primjere. Imamo li na pr. otopinu, koja

je zasićena natrijskim (kamenom) i kalijevim kloridom (silvin), znamo, da će se po *Nernstovu* pravilu umanjiti topljivost oba klorida. Ako se u vodi nalazi sam natrijski klorid, moći će 1000 mola<sup>1)</sup> vode da otopi 111 mola natrijskoga klorida; nalazi li se u vodi sam kalijev klorid, otopit će 1000 mola vode 88 mola kalijevoga klorida. U zasićenoj otopini oba klorida nalazimo na 1000 mola vode otopljeno 89 mola natrijskoga klorida i 39 mola kalijevoga klorida. Ako te podatke topljivosti čistih komponenta i njihove smjese prikazemo grafički dijagramom (sl. 799.) tako, da na apscisu unesemo vrijednosti mola za kalijev klorid, a na ordinatu vrijednosti mola za natrijski klorid, nalaziti će se kod A zasićenje čiste komponente KCl, kod B zasićenje čiste komponente NaCl, a kod C zasićenje smjese NaCl + KCl; kod O nalazi se čista voda. U prostoru između ACBO otopina je nezasićena; crta BC prikazuje zasićenje otopine komponentom NaCl, crta CA prikazuje zasićenje otopine komponentom KCl.

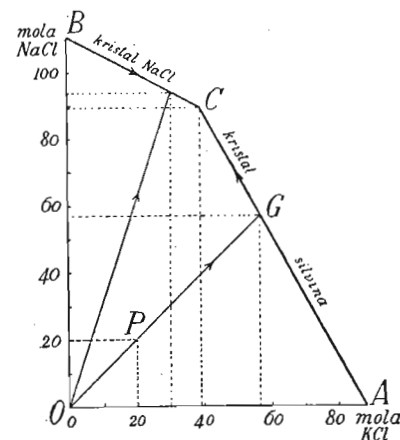
Kako svaka tačka u polju ACBO odgovara sastavu razrijeđene otopine, odgovarat će tačka P razrijeđenoj otopini, u kojoj se nalazi 20 mola NaCl i 20 mola KCl. Isparivanjem vode kao topila uz konstantnu temperaturu od 25° C, uz koju je obavljao *van't Hoff* i njegovi saradnici pokuse, povećava se koncentracija otopine, ali omjer NaCl:KCl ostaje pri tom nepromijenjen. Pri isparivanju topila putuje tačka P u pravcu od O u smjeru OG, pa kad dospije tako do tačke G na crti AC, početi će kristalizacija silvina KCl. Uz daljnje isparivanje teče neprestano kristalizacija silvina uz crtu GC, a tim se mijenja koncentracija otopine u toliko, da je u njoj sve više NaCl a sve manje KCl. U kojem se omjeru nalazi u otopini jedan i drugi klorid, pokazuje crta GC. Kad se kristalizacijom silvina dodje do tačke C, koncentracija je otopine takova, da se kod te tačke počinje uz silvin kristalizovati i kamenom so i to u onom omjeru, koji odgovara sastavu ili koncentraciji otopine; uz daljnje isparivanje izlučuju se oba minerala zajedno sve do kraja kristalizacije, a pri tom ostaje koncentracija otopine nepromijenjena. Tačka C odgovarala bi eutektičkoj tački u taljevinama.

Nalazi li se u otopini uz KCl više NaCl negoli to zahtijeva koncentracija kod tačke C, izlučivat će se, čim isparivanjem topila dospije koncentracija do crte BC, kamenom so NaCl; uz daljnje isparivanje teći će kristalizacija kamene soli niz crtu BC, dok ne dospije do tačke C, gdje će početi uz kamenom so da se kristalizuje i silvin KCl. C je dakle konačna tačka kristalizacije izmiješane otopine; do te tačke dospije konačno svaka izmiješana otopina.

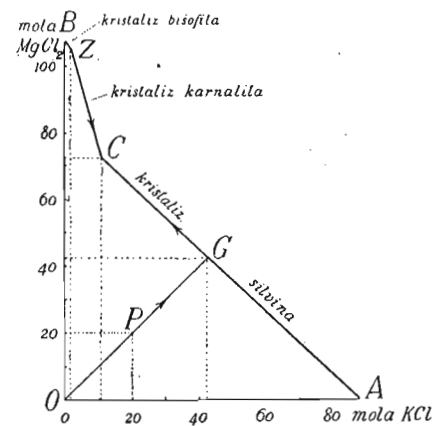
U opisanom slučaju bilo je govora o sistemu NaCl — KCl — H<sub>2</sub>O, gdje se je iz izmiješanih otopina kristalizovao NaCl i KCl kao kemijski čista

<sup>1)</sup> Jedan mol jest ona množina grama nekoga tijela, koja je jednaka molekularnoj težini toga tijela. Tako na pr. jedan mol natrijskoga klorida NaCl iznosi 58,46 grama, budući da je molekularna težina natrijskoga klorida 58,46.

tvar, kao kamenom so i silvin. Imamo li u otopini takove komponente, koje mogu stvarati dvosoli, tok je kristalizacije nešto zamršeniji, pa će pri kristalizaciji doći ne samo do postojanja nego i do nestajanja minerala. Možemo to posmatrati na sistemu KCl — MgCl<sub>2</sub> — H<sub>2</sub>O, koji je prikazan na dijagramu (sl. 800).



Sl. 799.



Sl. 800.

Kod A nalazi se otopina zasićena kalijevim kloridom, od koga se u 1000 mola vode otapa 88 mola; kod B je otopina zasićena magnezijevim kloridom, od koga se u 1000 mola vode otapa 108 mola; kod C je otopina zasićena u isto doba i silvinom KCl i karnalitom KCl·MgCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O tako, da se u 1000 mola vode nalazi otopljeno 11 mola KCl i 72,5 mola MgCl<sub>2</sub>; kod Z je otopina zasićena u isto doba bišofitom MgCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O i karnalitom tako, da se u 1000 mola vode nalaze otopljena 2 mola KCl i 105 mola MgCl<sub>2</sub>. U polju ACZBO otopina je nezasićena. Crta AC prikazuje zasićenje otopine komponentom KCl; uz tu se crtu izlučuje silvin. Crta CZ prikazuje zasićenje otopine karnalitom, koji se uz tu crtu kristalizuje; crta BZ prikazuje zasićenje otopine bišofitom, koji se uz tu crtu kristalizuje. Svaka tačka na crti OG odgovara sastavu razrijeđene otopine karnalita; tako na pr. tačka P odgovara razrijeđenoj otopini karnalita, u kojoj se nalazi 20 mola KCl i 20 mola MgCl<sub>2</sub>. Isparivanjem vode postaje otopina karnalitom sve zasićenija, a omjer KCl:MgCl<sub>2</sub> ostaje pri tom nepromijenjen sve dok koncentracija ne dospije do tačke G na crti AC; u tom času počinje kristalizacija silvina KCl. Dakako da sada biva u otopini sve manje KCl, a sve više MgCl<sub>2</sub> i to opadanje komponente KCl a rastenje MgCl<sub>2</sub> teče sve do tačke C, gdje uz kristalizaciju silvina KCl počinje u



isto doba i kristalizacija karnalita  $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Uklonimo li iz otopine izlučene kristale silvina i karnalita, da ne budu u doticaju sa otopinom, mijenjat će se daljnom kristalizacijom sastav otopine tako, da će biti bogatija sve većma komponentom  $\text{MgCl}_2$ , dok koncentracija ne dospije napokon do tačke Z; kod te tačke uz kristalizaciju karnalita  $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  počinje u isto doba i kristalizacija magnezijeskoga klorida sa vodom, bišofita  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , pri čem koncentracija otopine ostaje jednaka. Z je konačna tačka kristalizacije. U prirodi se može takav način kristalizacije dogoditi onda, kada izlučeni kristali silvina i karnalita budu prevučeni korom te se tako odvoje od otopine. Ali ako izlučeni kristali silvina  $\text{KCl}$  ostanu o doticaju sa otopinom, koja je daljnjom kristalizacijom dakako bogatija magnezijeskim kloridom  $\text{MgCl}_2$ , budu oni otopljeni, pošto su u otopini bogatoj magnezijeskim kloridom nepostojani, te tako daju materijal za razvitak karnalita  $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . U tom slučaju zadrži otopina koncentraciju tačke C, dok se napokon sav silvin ne pretvori u karnalit. Ovaj posljednji način kristalizacije podsjeća na magmatičnu resorpciju, koju smo spomenuli kod kristalizacije minerala iz magme. Kako u otopini, koja je kristalizacijom postala bogata magnezijeskim kloridom, ne može postojati silvin, tako u magmi, koja je kristalizacijom postala kremičnom kiselinom bogata, ne mogu postojati bazični silikati; resorpcijom prelaze oni u taljevinu.

Ako se u otopini nalazi više  $\text{MgCl}_2$  negoli ga ima otopina koncentracije Z, to će, čim dodje isparivanjem vode koncentracija otopine do crte BZ, početi kristalizacija bišofita  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Dakako da će pri toj kristalizaciji postajati otopina bogatija komponentom  $\text{KCl}$  idući od B prema Z, gdje se nalazi krajnja tačka kristalizacije, u kojoj se u isto doba izlučuju kristali bišofita i karnalita. Karnalit dakle može da postaje samo u otopini, u kojoj se nalazi magnezijeskimi soli u suvišku; u doticaju sa vodom raspadaje se on u silvin i bišofit.

Sintetička istraživanja *van't Hoffa* i njegovih saradnika podudaraju se sa načinom kristalizacije soli iz morske vode. U tom su pogledu osobito proučavana čuvena golema ležišta soli kod Stassfurta u Njemačkoj, gdje su se iskristalizovale razne soli izvjesnim redom stvarajući prostrane naslage razne debljine. U najdonjim naslagama u t. zv. *regiji anhidrita*, koja je debela 300—500 m, iskristalizovala se u glavnom kamena so  $\text{NaCl}$  sa anhidritom  $\text{CaSO}_4$ . Kamena so zapremila je glavni dio anhidritne regije, pa je ima u gornjim dijelovima do 96%; anhidrita, koji se nalazi u kamenoj soli u mnogobrojnim i tanušnim slojevima, ima do 4%; prema donjim dijelovima ležišta raste anhidrit, pa mu količina poskoči na 9%.

Na regiji anhidrita leži *regija polihalita* stvarajući naslage debele 40 do 60 m. I tu prevladava kamena so sa 91,2%; iza kamene soli slijedi po količini polihalit  $2\text{CaSO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot \text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  sa 6,2%, magnezijeski klorid sa vodom sa 1,5% i anhidrit sa 0,7%. Količina magnezijeskoga

klorida raste sve više idući prema gornjim dijelovima polihalitne regije. Na samoj granici između anhidritne i polihalitne regije iskristaliziralo se nešto malo hidroboracita  $\text{CaMgB}_6\text{O}_{11} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ .

U *regiji kizerita*, koja je debela 20—40 m a leži na polihalitnoj regiji, još je uvijek kamena so najobilniji mineral; ima je tu do 65%. Iza nje slijedi po količini kizerit  $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  sa 17%, karnalit  $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  sa 13%, magnezijeski klorid sa vodom sa 3% i anhidrit sa 2%.

Povrh regije kizerita prostire se *regija karnalita*; ona je debela 30 do 40 m. Tu prevladava karnalit sa 55%, dok je kamena so pala na 25%. Još se u karnalitnoj regiji nalaze velike količine kizerita sa 16% i magnezijeskoga klorida sa vodom sa 4%.

Kod Leopoldshall-a razvile su se povrh karnalitne regije još i velike količine kainita  $\text{MgSO}_4 \cdot \text{KCl} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  tako, da se tu pojavljuje prema tome i peta regija, *regija kainita*.

U karnalitnoj regiji kod Stassfurta nalazi se tu i tamo još i drugih sulfata, klorida i nešto malo borata. Od sulfata poznat je kainit, epsomit  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , astrakanit ili bledit  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , kalijeski astrakanit  $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , pikromerit ili šenit  $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , glazerit  $\text{NaK}_3(\text{SO}_4)_2$ , glauberit  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4$ . Od klorida poznati su u karnalitnoj regiji silvin  $\text{KCl}$ , bišofit  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , tahihidrit  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{MgCl}_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ , duglasit  $2\text{KCl} \cdot \text{FeCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Od borata pojavljuju se boracit  $\text{Mg}_7\text{B}_{10}\text{O}_{30}\text{Cl}_2$ , hidroboracit  $\text{CaMgB}_6\text{O}_{11} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , željezni boracit, pinoit  $\text{MgB}_2\text{O}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , ašarit  $3\text{Mg}_2\text{B}_2\text{O}_5 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , hinceit (ili hajncit ili kaliborit)  $\text{Mg}_2\text{KB}_{11}\text{O}_{19} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  i sulfoborit  $2\text{MgSO}_4 \cdot 4\text{MgHBO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .

U karnalitu nalazi se još kadšto kremena prozirca  $\text{SiO}_2$ , sumpora S, pirita  $\text{FeS}_2$ , celestina  $\text{SrSO}_4$ , željeznoga sjajnika  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , koji daje karnalitu crvenu boju, i nešto malo broma.

Po drugim ležištima soli, na pr. kod Kalusza u Poljskoj i dr., pojavljuju se i drugi sulfati, na pr. glauberova so  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ , singenit  $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , leveit  $2\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{MgSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ; u tirolskim ležištima soli ima vanthofita  $\text{MgSO}_4 \cdot 3\text{Na}_2\text{SO}_4$  i langbajnita  $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{MgSO}_4$ ; kod Leopoldshalla razvio se leonit  $(\text{KNa})_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ .

U naslagama pomenutih soli, koje su se razvile iz morske vode, nalaze se još i druge tvari, na pr. brom, negdje tragovi joda, zatim amonij, rubidij, cezij, litij, željezo, bakar, srebro (u jednoj toni kamene soli od Stassfurta ima 34 mgr srebra), pa mjestimice u karnalitu i zlata.

Ako posmatramo položaj minerala u ležištima soli, na pr. kod Stassfurta, zapaziti ćemo, kako u gornjim dijelovima ležišta prevladavaju magnezijeske soli, što je znak, da se je kristalizacijom mineralne tvari iz morske vode mijenjao sastav te otopine tako, da je ona postepeno postajala sve bogatija magnezijeskimi solima, što je u saglasju sa sintetičkim pokusima *van't Hoffa* i njegovih saradnika. Čim morska voda dodje ispari-

vanjem do tolike koncentracije, da joj specifična težina prekorači vrijednost 1,033, počinje se kristalizovati kalcijevi sulfat. U početku kristalizacije, dok morska voda nije još zasićena lako topljivim kloridima, izlučuje se kalcijevi sulfat kao gips  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Zato ćemo redovito naći naslage gipsa, gdje leže kao podloga naslagama kamene soli. Kako daljnjom kristalizacijom postaje morska voda sve bogatija kloridima, izlučuje se kalcijevi sulfat kao anhidrit, koji se nalazi u svim regijama često puta kao silesija uzanih naslaga u kamenoj soli. Uz daljnje isparivanje vode postaje koncentracija još veća, pa kad morskoj vodi poraste specifična težina na 1,20, počinje kristalizacija kamene soli. Neprestanom kristalizacijom kamene soli uz daljnje isparivanje gomilaju se u otopini sve više kloridi i sulfati magnezija, kalija i kalcija, iz kojih se kristalizacijom razvijaju razni sulfati i kloridi, što ih nalazimo u gornjim dijelovima sonih ležišta.

9. *Izlučivanje minerala iz natrijskih ili sodnih jezera.* Budući da natrijska jezera sadržavaju uz natrijski klorid u glavnom natrijske karbonate, to će se iz njih, kad dodje isparivanjem vode do izvjesne koncentracije, razvijati u glavnom natrijski klorid i alkalijevi karbonati. Kristalizacija će dakako zavisiti o fizičko-kemijskim prilikama, na. pr. o temperaturi i o kemijskom sastavu otopine. Tako se na pr. iz egipatskih sodnih jezera izlučuje zimi, kad je temperatura niža, natrijski karbonat, a ljeti, kad je temperatura viša, natrijski klorid. Koji će se natrijski karbonat razviti, zavisi takodjer o pomenutim prilikama, pa ćemo na pr. sodu  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  naći vrlo rijetko kao mineral sodnih jezera. Kad bi se natrijski karbonat nalazio sam u otopini i kad bi temperatura pri njegovoj kristalizaciji bila na. pr. temperatura sobe, iskristalizovao bi se kao soda sa 10 molekula vode. Ali sodna jezera izmiješana su otopine raznih soli, pa već zbog toga teško dolazi do razvitka sode; ako se i razvije, ne može dugo da postoji, jer joj je za opstanak potrebna niža temperatura i vlažan uzduh. U suhom uzduhu i kod temperature iznad  $37^\circ$  raspada se u karbonat sa jednom molekulom vode, u t. zv. termonatrit  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ . Zato ćemo mjesto sode naći po nekim sodnim jezerima kako se izlučuje termonatrit.<sup>1)</sup> Od natrijskih karbonata najčešći je mineral pri izlučivanju iz sodnih jezera trona ili urao  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Osobito velike količine trone daju sodna jezera po Egiptu, u provinciji Fesan u Africi, iz okolice Meride u Venezueli, sodna jezera Sjeverne Amerike i dr. Po tim jezerima izlučuje se i gajlisit  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , koga ima naročito mnogo u okolici Meride u Venezueli i nedaleko Ragtowna u Nevadi.

10. *Izlučivanje minerala iz boraksnih jezera.* Borakсна jezera daju uz razvitak kamene soli i nekih sulfata u glavnome materijal za razvitak nekih borata. Tako se po boraksnim jezerima u Tibetu, Kaliforniji, Nevadi

<sup>1)</sup> U suhim predjelima pri „cvjetanju“ iz zemlje razvija se mjesto sode uvijek termonatrit.

i dr. kristalizuje od borata najviše boraks ili tinkal  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ . U Tibetu se nalazi kao stalan pratilac boraksa kamena so, a u drugim krajevima prate boraks još i neki sulfati. U Boraks Lake u Kaliforniji izlučuje se naročito tenardit  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , sulfohalit  $2\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{NaF} \cdot \text{NaCl}$  i hanksit  $4\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3$ . Iz nekih boraksnih jezera izlučuje se uleksit ili boronatrokalcit  $\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ; njega prati obično kamena so, gips, glauberit  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4$ , glauberova so.<sup>1)</sup>

130. *Minerali se preobražavaju.* Mineral se razvija ili iz rastaljene tvari, taljevine (pirogeni mineral) ili iz plina i pare (pneumatogeni mineral) ili iz vodene otopine (hidatogeni mineral); razvio se ili u jasnim kristalima, našavši svoj stan negdje po pukotinama stijena ili u samim stijenama, ili se razvio u kristalastim nakupinama izgradjujući različito stijenje. Čitav taj njegov razvitak nije bio drugo nego niz fizičko-kemijskih procesa, koji su išli za tim, da medju fizičko-kemijskim silama (termijskim, mehaničkim i kemijskim) dodje do ravnoteže, o kojoj jedinoj zavisi opstanak minerala. I tako dugo, dok su pomenute sile u ravnoteži, tako dugo postoji i mineral; čim se ravnoteža medju tim silama poremeti, minerala nestaje, on propada, da se opet pojavi u novoj formi, kao nov mineral, kad samo dodje do ravnoteže medju onim silama, koje ravnaju njegovim postajanjem i njegovim opstajanjem.

Nestajanje je minerala dakle zapravo izvor novoga postajanja, novoga razvitka, novog minerala; ono je tek preobražavanje, metamorfoza<sup>2)</sup> jednoga minerala u drugi. Zato ćemo u istom poglavlju, gdje govorimo o postajanju minerala, govoriti i o njihovom nestajanju. To će nestajanje biti opet praćeno nizom fizičko-kemijskih procesa, koji će poremetiti ravnotežu medju fizičko-kemijskim silama onoga minerala, koji postoji, ali će u isti čas izazvati medju tim silama novu ravnotežu, koje će posljedica biti nov mineral. Često se događja, da istoga časa, kad je neki mineral počeo da propada, istoga toga časa postaje već nov mineral. U carstvu minerala možemo lako motriti, kako od tvari ništa ne propada, kako postoji samo mijena tvari, koja se očituje u raznim formama; sve je to samo niz promjena, što teku u krugu, kojemu nema nigdje kraja.

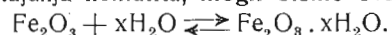
Glavni posao kod nestajanja i postajanja ili u kratko kod preobražavanja minerala obavlja voda ili sama ili sa svojim pomagačima, ugljičnom kiselinom, kisikom, sumpornom kiselinom i t. d.

### 131. Voda preobražava mineral ulazeći u njegov kemijski sastav.

<sup>1)</sup> R. Brauns: Chemische Mineralogie, pag. 92., 318. — R. Marc: Vorlesungen über die chemische Gleichgewichtslehre, pag. 23., 107. — H. E. Boeke und W. Eitel: Grundlagen der physikalisch-chemischen Petrographie, pag. 453. — G. Tschermak: Lehrbuch der Mineralogie, achte Auflage, pag. 354. — J. Roth: Allgemeine und chemische Geologie, I. Band, pag. 437. Berlin 1879.

<sup>2)</sup> Od grč. *metamorphosis*, preobražavanje u drugi lik.

Kadikad voda na taj način preobražava (metamorfozira) mineral, da ulazi u njegov kemijski sastav, pa tako dolazi do razvitka novoga, a nestajanja staroga minerala. Taj se proces događa u prirodi dosta često i neki minerali imaju njemu da zahvale svoj postanak. Mnogi na pr. limoniti  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$  postali su metamorfozom iz hematita  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , na koga je djelovala voda. U prisuću vode hematit je nepostojan; između njega i vode dolazi do borbe, koja izaziva poremećaj u ravnoteži onih sila, uz koje je hematit postojao i borba traje tako dugo, dok ne dodje do nove ravnoteže između željeznoga oksida i vode; postaje tako nov spoj, željezni hidrat, mineral limonit, a hematita nestaje. Tu kemijsku ravnotežu, koja dovodi do razvitka limonita i nestajanja hematita, mogli bismo ovako prikazati:



U željeznim rudnicima, koji su sastavljeni od hematita, redovito ćemo naći, kako su u gornjim dijelovima, prema površini, gdje su željezne rude lako dolazile u doticaj sa vodom, preobraženi u limonit. Zato nikada ne možemo iz ležišta limonita, koji se nalazi na površini Zemlje, zaključivati, da je i čitavo ležište sastavljeno od limonita; može biti, da su samo dijelovi na površini od limonita, koji je postao metamorfozom iz hematita, dok se u dubljim dijelovima ležišta nalazi hematit.

Na isti način preobražava se anhidrit  $\text{CaSO}_4$  u gips  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  i mnoge naslage gipsa bile su u prvo doba anhidrit. Dakako da kod toga preobražavanja uvećava mineral znatno svoj obim, pa se zbog toga katkad raspadne. Ako su naslage minerala, na pr. anhidrita, velike, to će prelazom u gips toliko proširiti svoj obim, da će poremetiti položaj onih naslaga, koje leže na gipsu.

Poput hematita i anhidrita mogu i drugi minerali djelovanjem vode da se preobrazu u nove minerale.

**132. Voda može otopiti mineral, a pri tom ga tvarno ne promijeni.** Kemijski čista voda kao  $\text{H}_2\text{O}$  može otopiti svaki mineral; neki će otopiti lakše, neki teže tako, da je to otapanje negdje kratkotrajno i lako ga zapažamo, a negdje treba da prodje neobično dugo vrijeme, dok se tek neznatan dio minerala otopi; otapanje je tako sporo, da ga i ne zapažamo, pa nam se čini, kao da je mineral u vodi netopljiv. Kod takvog otapanja mineral se tvarno ne mijenja, pa se iz vodene otopine može otopiti u svojoj prijašnjoj formi, čim nestane topila, vode.

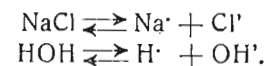
Koliko god može voda otopiti svaki mineral, ipak nije njezina moć otapanja neograničena: ona može otapati mineral samo do neke količine i tu joj moć otapanja prestaje. Kad bismo primjerice sipali u vodu malo pomalo kamene soli  $\text{NaCl}$ , voda bi je u početku lako otapala; što kasnije, otapanje bi bilo sve slabije i u jednom času voda više ne bi djelovala na kameni so. Između vode i kamene soli došlo je do ravnoteže, velimo: voda je kamenom soli *zasićena*. Kad bi se poremetila ta ravnoteža,

recimo povišenjem temperature i tlaka (str. 518.), voda bi još mogla da otopi neki dio kamene soli, ali bi uskoro došlo opet do ravnoteže i voda ne bi mogla više otopiti soli. Temperaturom i tlakom povećala se vodi moć otapanja, pa čim popusti tlak i temperatura, izlučuje se iz vode onaj dio otopljene soli, koji je voda uz povišeni tlak ili temperaturu otopila, jer je otopina sada kamenom soli *prezasićena*. Mi smo već napomenuli (str. 526.), kako u velikim dubinama, gdje vlada visoka temperatura i tlak, voda ima znatno veću moć otapanja, pa se u njoj nalaze razne mineralne tvari otopljene. No kako dodje na površinu Zemljinu ili u one dijelove kamene kore, gdje je temperatura i tlak niži negoli u dubinama Zemljinih, izlučuju se iz vodene otopine one mineralne tvari, koje je voda uz visoku temperaturu i tlak otopila.

Šta se dogodi sa mineralom, kad ga voda otopi? Prelazi u tekućinu raspadajući se u sitne čestice, u molekule, koje se slobodno gibaju na sve strane u vodi. Jedan je dio molekula električki neutralan, a drugi se dio raspada ili disocira u vodi dalje u još sitnije čestice, od kojih su neke nabite pozitivnom, a neke negativnom elektricitetom. Radi tih elektricitetom nabitih čestica postala je vodena otopina dobrim vodičem galvanske struje ili t. zv. *elektrolitom*. Kad kroz vodenu otopinu, koja je postala elektrolit, prolazi galvanska struja, putuju one elektricitetom nabite čestice na polove galvanskog članka, zbog čega su nazvate *ijontima*<sup>1)</sup>; ijonti pozitivna naboja putuju na negativan pol, na katodu, pa se zovu *kationtima*, a ijonti negativna naboja na pozitivan pol, na anodu, pa se zovu *aniontima*.

U našem primjeru nalazi se kamena so u vodenoj otopini djelomice disocirana na ijonte  $\text{Na}^+$  i  $\text{Cl}^-$ , gdje je  $\text{Na}^+$  kation, a  $\text{Cl}^-$  anion;  $\text{Na}^+$  i  $\text{Cl}^-$  kao ijonti razlikuju se od  $\text{Na}$  i  $\text{Cl}$  kao atoma po tom, što su ijonti elektricitetom nabiti, dok atomi nemaju električna naboja. Pozitivne električne naboje kationata označujemo obično tačkama ( $\cdot$ ), a negativne naboje anionata zarezima ( $'$ ), na pr.  $\text{Na}^{\cdot}$ ,  $\text{Cl}'$ .

U vodenoj otopini mineralnih tvari nalaze se dakle električki neutralne molekule i ijonti mineralne tvari, ali se nalaze u njoj i molekule i ijonti same vode  $\text{HOH}$ , jer se i voda nešto malo disocira u kationte  $\text{H}^{\cdot}$  i anijonte  $\text{OH}'$ . Sve su te molekule i ijonti među sobom u ravnoteži, što označujemo znakom  $\rightleftharpoons$ . Prema tome otopina kamene soli  $\text{NaCl}$  mogla bi se ovako prikazati:



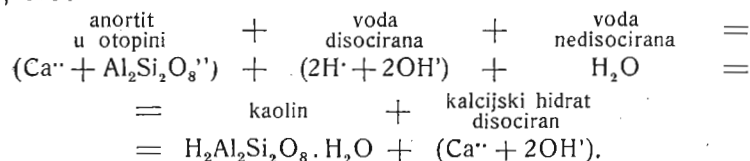
Što je vodena otopina razrjedjenija, raspada se u njoj više molekula u ijonte.

<sup>1)</sup> Od grč. *ión*, *iontos*, putujući.

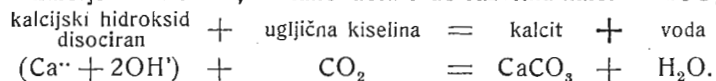
U prirodi se događa, da nedisocirana voda, kao  $H_2O$ , otapa minerale ne dirajući u njihovu tvar, pa se u zgodnim prilikama iz takve otopine mineralna tvar opet izlučuje kao prijašnji mineral. Tako ćemo na pr. po naslagama gipsa naći lijepih gipsovih kristala, koji su se razvili iz vodene otopine gipsove; po krečnjacima nalazimo tu i tamo kristala kalcitovih, koji su se iskristalizovali iz vodene otopine, što je postala otapanjem krečnjaka i t. d. Pri ovom je procesu voda mineral uništila, ali se isti mineral, kad je nestalo topila (vode), ponovice razvio.

**133. Voda može otopiti mineral, a pri tom ga stvarno promijeni.** Dok voda, kako smo malo čas čuli, u nedisociranoj formi, kao  $H_2O$ , mineral tek otapa tako, da se iz te otopine isti mineral ponovice kristalizuje, to ona u svojoj disociranoj formi sa svojim ijontima  $H \cdot$  i  $OH'$  mineral razara dajući materijal za razvitak novih minerala.

U vodi se nalazi uvijek nešto malo i njezinih ijonta  $H \cdot$  i  $OH'$ , koji kemijski djeluju na ijonte mineralne tvari spajajući se s njima u nove kemijske spojeve. Možemo to posmatrati na kojem silikatnom mineralu. Silikati su spojevi jakih baza sa slabom kremičnom kiselinom ili slabom alumokremičnom kiselinom. Otapajući se u vodi, silikati se raspadaju (disociraju) u slabu kiselinu (kremičnu ili alumokremičnu) i jaku bazu, dakle u ijonte, koji sa vodnim ijontima stupaju u nove spojeve. Anortit  $CaAl_2Si_2O_8$  raspast će se u vodenoj otopini jednim dijelom u ijonte  $Ca^{++}$  i ijonte  $Al_2Si_2O_8''$ ; s tim ijontima stupat će vodini ijonti u kemijske reakcije i od anortita razvit će se dva nova kemijska spoja, a sam će anortit nestati; evo:



Iz anortita dakle postao je otapanjem u disociranoj vodi nov mineral, kaolin  $H_2Al_2Si_2O_8 \cdot H_2O$  i kalcijski hidroksid, koji se nalazi u vodi disociran u  $Ca^{++} + 2OH'$ ; taj se hidroksid u prisuću ugljične kiseline s njom spaja u kalcijski karbonat, te tako dolazi do razvitka kalcita  $CaCO_3$ ; evo:



Ovakav proces nestajanja i postajanja minerala u prirodi vrlo je čest. Osobito ga lijepo možemo posmatrati medju silikatnim mineralima, kad mikroskopski proučavamo stijene. Tu se razabira, kako onim časom, čim jedan mineral počinje nestajati, tim istim časom neki novi postaje; a ujedno pri tom razabiramo, kako se u vodi sve više sakupljaju razne mineralne tvari, koje će takodjer u zgodnim prilikama prijeći u čvrsta tijela,

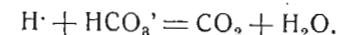
u minerale. Nije dakle nikakovo čudo, ako po pukotinama silikatnih stijena nailazimo na neke minerale, koji su se kadikad iskristalizovali u jasnim kristalnim formama. Oni su postali kristalizacijom iz vodene otopine, kamo je dospjela njihova tvar raspadanjem silikatnih minerala. Medju takvim mineralima osobito je čest kremen (vrlo se rado razvija kao kremen prozirac) i kalcit (takodjer kadikad u jasnim kristalima).

**134. Ugljična kiselina pojačava vodi moć otapanja.** Kazali smo, da kemijski čista voda u svojoj nedisociranoj formi kao  $H_2O$  može otopiti svaki mineral; veliku većinu minerala otapa takova voda tako polako, da to otapanje i ne zamjećujemo. Ali ako se u vodi nalazi ugljične kiseline (ili tačnije ugljikova dioksida  $CO_2$ ), pojačat će se znatno vodi moć otapanja. Neka nam to pokaže ovaj primjer: u 100.000 uteznih dijelova vode uz temperaturu sobe otapa se od kalcita 3,16 dijelova; ako tu vodu zasitimo ugljičnom kiselinom  $CO_2$ , pojačat će se vodi moć otapanja, te će se u istoj količini vode otopiti 100 dijelova kalcita.

Još će se takvoj vodi, u kojoj ima ugljične kiseline, pojačati moć otapanja pojačanjem tlaka. Engel i Ville obavljali su u tom smjeru pokuse sa magnezijским karbonatom, pa su našli, da uz istu temperaturu pojačanjem tlaka raste topljivost:

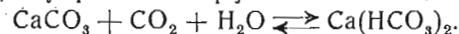
Tlak u atmosferama	Temperatura	Množina otopljena $MgCO_3$ u 1 litri, u kojoj ima ugljične kiseline
1.0	19.5°	25.79 gr
2.1	19.5	33.11
3.2	19.7	37.3
4.7	19.0	43.5
5.6	19.2	46.2
6.2	19.2	48.51
7.5	19.5	51.2
9.0	18.7	56.59

U vodama, što prolaze kamenom korom te dolaze u doticaj sa mineralima, ima uvijek neka količina ugljične kiseline. No ugljična je kiselina vrlo nepostojana, pa se u vodenoj otopini ne nalazi u formi  $H_2CO_3$ , nego se lako raspada, osobito na površini Zemljinoj, u ugljični dioksid  $CO_2$  i vodu  $H_2O$ . Ako u vodi ima neki suvišak ugljičnoga dioksida, može se u njoj ugljična kiselina nalaziti i ijonizirana u  $H \cdot$  i  $HCO_3'$  pa u takvoj formi otapa i ona sama minerale ulazeći s njihovim ijontima u nove spojeve, kako smo to vidjeli kod anortita (133); nema li u vodi  $CO_2$  u suvišku, raspada se ijon  $HCO_3'$  tako, da njegov vodik i jedan dio kisika stupaju u kemijsku reakciju sa slobodnim ijontom  $H \cdot$ , te postaje ugljični dioksid i voda:



Kod preobražavanja minerala, kod njihova nestajanja, saradjuje znatno i ugljična kiselina. Disocirana u formi  $H \cdot + HCO_3'$  razara minerale dajući

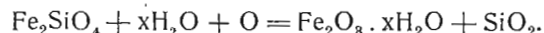
materijal za razvitak novih minerala, a kao ugljični dioksid povećava vodić moć otapanja, pa su u vodi, u kojoj ima ugljičnoga dioksida, osobito topljivi karbonati, koji prelaze u topljive bikarbonate:



Kao ugljični dioksid stvara, kako smo vidjeli kod anortita (133), iz hidroksida karbonate.

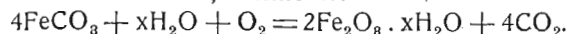
**135. Kod preobražavanja minerala saradjuje i kisik.** Kako se u vodi nalazi neka količina ugljične kiseline ili ugljikova dioksida, ima u njoj otopljeno sad više sad manje i kisika. Nalazeći se kisik otopljen u vodi uz ijonte raznih mineralnih tvari, spaja se s njima, oksidira ih i tako dolazi do propadanja mnogih minerala, ali se u isto doba pojavljuju novi minerali. Ta se oksidacija događa obično kod onih minerala, koji imaju u svom sastavu elemente različite valjanosti (različite valencije), na pr. željezo ili mangan, koji su i dvovaljani i trovaljani i šestorovaljani.

Uzmimo, da se negdje u kamenoj kori nalazi kao sastavni dio stijene mineral fajalit  $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ ; on se razvio iz magme i traje tako vijekove i vijekove. Najednom došla je do fajalita voda, u kojoj je bilo kisika. Voda će otopiti jedan dio fajalita, koji će se u njoj tako otopljen raspasti jednim dijelom u ijonte  $2\text{Fe}^{++} + \text{SiO}_4^{--}$ ; kako u vodi ima otopljena kisika, on će oksidirati kation  $\text{Fe}^{++}$  i doći će do razvitka željeznoga oksida  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , koji se nalazi u vodi, te će i ona ući jednim dijelom u njegov sastav pretvorivši oksid u hidroksid (131); pri toj će se oksidaciji osloboditi kremična kiselina  $\text{SiO}_2$ , koja je bila u fajalitu vezana za željezo. Evo toga toka oksidacije:



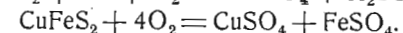
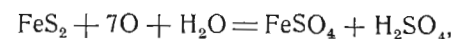
Oksidacijom je dakle nestalo fajalita, ali je zato od njega postao nov mineral, limonit  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$  i kremični dioksid  $\text{SiO}_2$ , koji će se negdje razviti kao kremen ili opal. U prirodi se mnogi minerali, koji imaju željeza preobražavaju na taj način u limonit, a mnogi kremen i opali postaju pri tom procesu. Preobražavanjem mogu se tako kroz dugotrajno geološko doba nagomilati na nekom mjestu velike količine željezne rude.

Kako je silikat (fajalit) oksidacijom nastradao prešavši pri tom u nove minerale, događa se to na pr. i željeznom karbonatu, sideritu  $\text{FeCO}_3$ . On se preobražava u željezni oksid, u hematit; no kako na njega djeluje voda, prelazi brzo u hidroksid, u limonit:

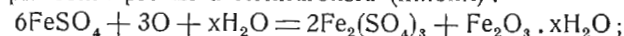


I taj je proces u prirodi jako čest; u rudnicima siderita, na pr. kod nas u Ljubiji u Bosni, uvijek su gornji dijelovi, t. zv. *oksidaciona zona*, preobraženi u limonit.

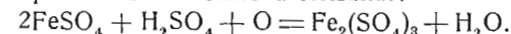
Oksidaciji osobito lako podliježu neki sulfidi, na pr. pirit (markazit)  $\text{FeS}_2$  i halkopirit  $\text{CuFeS}_2$ . Ako ima u vodi kisika, teći će proces oksidacije piritu i halkopiritu po ovoj šemi:



Pri toj se oksidaciji stvara dakle ferosulfat (i kuprisulfat) i slobodna sumporna kiselina. Ferosulfat je nepostojan u prisuću kisika, pa bude brzo oksidiran, pri čemu prelazi u ferihidroksid (limonit):

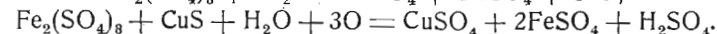
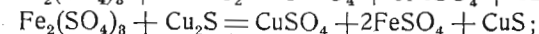
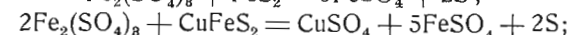
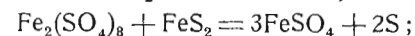


ili u prisuću sumporne kiseline samo u ferisulfat:

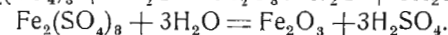
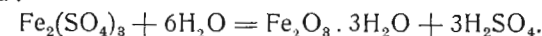


Ferihidroksid (limonit), koji pri ovom procesu postaje, razvija se najprije kao sol (hidrosol), a kasnijim procesima grušta se u hidrogel.

Za daljnje nestajanje i postajanje minerala osobito je važno stvaranje ferisulfata; u oksidacionoj zoni pomaže on otapanje i oksidiranje svih drugih sulfida, a otapa i sve metale osim zlata. Kako djeluje na pr. na pirit  $\text{FeS}_2$ , halkopirit  $\text{CuFeS}_2$ , halkozin  $\text{Cu}_2\text{S}$  i kovelin  $\text{CuS}$ , neka pokažu ove reakcije:

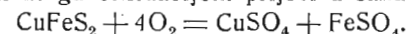


Kod ovih procesa razvija se u glavnom ferosulfat, nešto malo slobodnoga sumpora, slobodna sumporna kiselina i kovelin  $\text{CuS}$ . U prisuću kisika bude sumpor brzo oksidiran u  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$  i  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Ferosulfat može se dalje da oksidira pa prelazi u ferisulfat i u ferihidroksid, u limonit. Dok je sulfida, djelovat će ferisulfat na njih, a ako njih nema, raspast će se u ferihidroksid (limonit) i sumpornu kiselinu, ili u ferioksid (hematit) i sumpornu kiselinu:



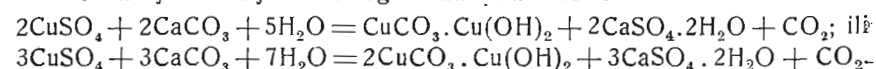
Konačni je dakle produkt raspadanja ili trošenja piritu i halkopiritu u zoni oksidacije ferihidroksid (limonit), koji se izlučuje kao gel, a u otopini ostaje bakarni sulfat i sumporna kiselina, koji će služiti pri daljnjem stvaranju minerala.

Bakarni sulfidi mogu oksidacijom prijeći u sulfate:



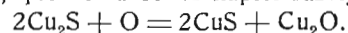
Ako se u otopini nalazi kalcijski bikarbonat, doći će do kemijske izmjene i bakarni sulfat prijeći će u bakarne karbonate, u malahit  $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ , ili u azurit  $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ , a kalcijski bikarbonat u sulfat:  $2\text{CuSO}_4 + 2\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 = \text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2 + 2\text{CaSO}_4 + 3\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ; ili  $3\text{CuSO}_4 + 3\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 = 2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2 + 3\text{CaSO}_4 + 4\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ .

Slična je reakcija bakarnoga sulfata na kalcit:

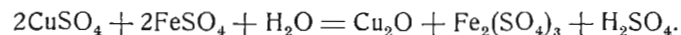


Pri tim se reakcijama uz malahit i azurit stvara i gips, koji je u vodi dosta lako topljiv, pa ga voda kao otopinu dalje nosi.

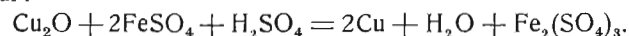
Kuprit  $\text{Cu}_2\text{O}$  može postati direktnom oksidacijom bakarnoga sulfida, na pr. halkozina  $\text{Cu}_2\text{S}$ , pri čemu se uz kuprit razvija i kovelin  $\text{CuS}$ :



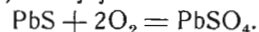
Ali kuprit može da se razvije i iz otopine bakarnoga sulfata u prisuću ferosulfata:



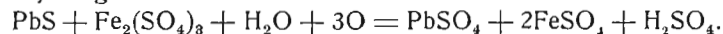
U oksidacionoj zoni nalazi se kuprit redovito impregniran samorodnim bakrom. Postanak toga samorodnoga bakra tumači se tako, da se uz daljnje prisuće ferosulfata i sumporne kiseline kuprit djelomice pretvara u samorodni bakar:



Galenit  $\text{PbS}$  može prijeći oksidacijom u sulfat, anglezit  $\text{PbSO}_4$ , ako dodje u doticaj sa vodom, u kojoj se nalazi kisik:

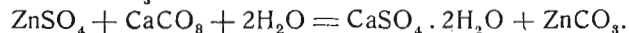


Ali anglezit će postati iz galenita i onda, ako se u vodi nalazi ferisulfat, koji djeluje kao prenosač kisika takodjer oksidaciono i to mnogo energičnije negoli sam kisik:



Budući da je olovni karbonat, cerusit  $\text{PbCO}_3$ , postojaniji od anglezita, prijeći će anglezit u dodiru sa vodom, u kojoj ima otopljeni bikarbonata, u cerusit.

Sfalerit  $\text{ZnS}$ , kako ima uvijek i nešto malo željeza, prelazi oksidacijom u cinkani i željezni sulfat. Željezni sulfat prelazi u željezni hidrat, u gel, a lako topljivi cinkani sulfat može da stupi u reakciju sa kalcij-skim karbonatom, pa će doći do kemijske izmjene, pri kojoj će se razviti gips i smitsonit  $\text{ZnCO}_3$ :



Antimonski sulfid, antimonit  $\text{Sb}_2\text{S}_3$  može oksidacijom prijeći u valentinit i senarmontit  $\text{Sb}_2\text{O}_3$ , a arseniski sulfidi, realgar  $\text{As}_2\text{S}_2$  i auripigment  $\text{As}_2\text{S}_3$  u arsenit  $\text{As}_2\text{O}_3$ .

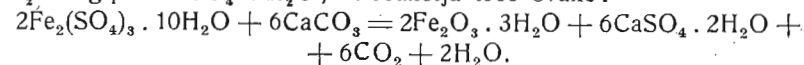
Kako sulfidi prelaze oksidacijom u sulfate razvijajući pri tom slobodnu sumpornu kiselinu, tako će arsenidi oksidacijom prijeći u arsenijate, a pri tom će se stvoriti neka količina slobodne arsenske kiseline, koja će djelovati na čvrste minerale i mineralne otopine i bit će tako uzrok razvitku novih minerala, arsenijata. Oksidacijom će se na pr. razviti od smaltina  $\text{CoAs}_2$  eritrin  $\text{Co}_3\text{As}_2\text{O}_8 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ , a od kloantita  $\text{NiAs}_2$ , anabergit  $\text{Ni}_3\text{As}_2\text{O}_8 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ .

Iz minerala, u kojima ima željeza, vidjeli smo, postaje željezni hidroksid. Isto će tako iz manganskih minerala postati manganski hidroksidi (i oksidi). Dok je željezo u mineralima dvovaljano, daje im zelenkaste i

tamnozeleno boje; tako je na pr. olivin, enstatit, aktinolit i t. d. od dvovaljana željeza zelene boje; čim se željezo u mineralu oksidira, čim prijeđe iz ferookside  $\text{FeO}$  u ferioksid  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , pojavljuju se žute ili crvene boje. Mnoge stijene, u kojima ima željeza, dok su svježije, odlikuju se ili zelenom ili mrko zelenom bojom; kako se stanu trošiti, t. j. kako je došlo do oksidacije željeza, postaju stijene žute ili crvene. Tako su na pr. stijene serpentina, koje se pojavljuju na istočnoj strani Zagrebačke Gore kod Orešja Gornjeg u okolini Sv. Ivana Zeline toliko preobražene, da su posve mrko crvene boje; samo tamo, gdje su se očuvale od trošenja (oksidacije), imaju mrko zelenu boju.

Manganski oksidi i hidroksidi obično su crne boje, pa mnoge crne stijene i minerali crni su od manganskoga oksida ili hidroksida. Tako su naši boksiti redovito crvene boje od željeznoga oksida i hidroksida; ali tamo, gdje je u njihov sastav ušao manganski hidroksid, oni su crni (boksiti od Domanovića u Bosni, kod Bukovice na Duvanjskom Polju, kod Mazina u Lici i dr.).

**136. Djelovanjem mineralne otopine na čvrste minerale postaju novi minerali.** Djelovanjem vode, nedisocirane ili disocirane, djelovanjem ugljične kiseline i kisika, minerali se otapaju i raspadaju. Pri tom postaju različiti kemijski spojevi i tako u vodu dolaze razne mineralne tvari, među kojima dolazi do kemijskih reakcija, kojih je posljedica razvitak nekoga minerala (str. 550.). Kod oksidacije na pr. piritu postaje željezni sulfat  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$  i sumporna kiselina  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , koji prelaze kao otopina u vodu; ako u takvoj vodenoj otopini ima i kalcij-skoga karbonata  $\text{CaCO}_3$ , doći će do kemijske izmjene između željeznoga sulfata i kalcij-skoga karbonata, a posljedica će toga biti razvitak dvaju minerala, limonita  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$  i gipsa  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ; ta reakcija teče ovako:

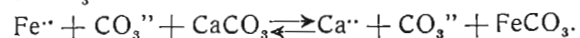


Ali kod oksidacije piritu razvila se i sumporna kiselina; ta se može namjeriti na koji mineral, pa će ga otopiti pretvorivši ga u sulfat, na pr. kalcit u gips. Poneki sulfatni mineral postaje u prirodni baš povodom oksidacije sulfida, naročito piritu. Lijepi kristali gipsa, što ih nalazimo na pr. u glini kod Samobora, postali su tako, da je sumporna kiselina, koja se razvija pri oksidaciji piritu, koga ima u glini, djelovala na kalcij-ski karbonat, koga takodjer ima u glini, pa ga je pretvorila u kalcij-ski sulfat, a on se iskristalizovao kao gips; imajući dovoljno prostora za nesmetano rastenje, razvio se gips u vrlo pravilnim kristalnim formama. Kadikad je i pojava gorke soli  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  u vezi sa oksidacijom piritu. Sumporna kiselina, što se razvija pri oksidaciji piritu, dolazi u doticaj magnezij-skih minerala, na pr. dolomita ili kojega silikatnoga magnezij-skoga minerala (amfibola ili piroksena). Kao jak reagens otapa magnezij-ske minerale pre-

tvarajući ih u magnezijske sulfate, koji zalaze u vodu, dajući joj gorki okus. Mnoga gorka voda postala je baš na taj način. Negdje se iz takve vode kristalizuje epsomit, na pr. po gipsnim rovovima u Samoborskoj Gori, gdje se je razvio u dugim nitima.

Namjeri li se sumporna kiselina na alumosilikate ili na alumokremičnu kiselinu (na pr. na kaolin), ona će kao jača kiselina istisnuti kremičnu kiselinu, pa će sa bazama stvarati sulfate. Zato će se pri trošenju (oksidaciji) sulfida, naročito pirita, po silikatnim stijenama razvijati kadšto aluminijski sulfati i alaun.

Kadikad se događa, da otopina neke mineralne tvari dodje u doticaj sa neotopljenim mineralom, pa će i u tom slučaju, doći do kemijske izmjene, osobito ako je mineral u trajnom dodiru sa otopinom. Pri tome će čvrsti mineral prijeći u otopljeno stanje, a otopljeni u čvrsto, t. j. čvrsti će mineral nestati, a na njegovom mjestu pojavit će se nov mineral. Takav način nestajanja i postajanja minerala zovemo *metasomatozom*<sup>1)</sup>. Metasomatoza se rado razvija, kad dodju u dodir dvije soli, otopljena i čvrsta, a obje imaju jedan zajednički ion. Na pr. ako se u vodi nalazi željezni karbonat  $Fe^{++} + CO_3^{--}$ , pa dodje u doticaj sa kalcitom  $CaCO_3$ , prijeći će kalcit u otopinu  $Ca^{++} + CO_3^{--}$ , a željezni karbonat  $Fe^{++} + CO_3^{--}$  u čvrsto stanje, u mineral siderit  $FeCO_3$ :

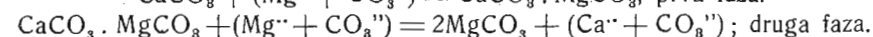
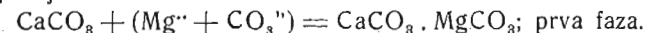


Na taj način, metasomatskim putem, postale su one silne količine željeznih ruda u okolini Vareša; tamo su se čitave naslage krečnjaka pretvorile u siderit, koji je većinom prešao, kasnijom oksidacijom u hematit. Vrlo lijep primjer pomenute metasomatoze možemo posmatrati i u Lici kod Kijana, gdje se nalaze velike mase boksita. Tačno na kontaktu boksita i krečnjaka, prešao je krečnjak u limonit (u početku je to bio dakako siderit). Metasomatoza je zahvatila samo mali dio krečnjaka, tek onaj u neposrednoj blizini; što idemo dublje od površine prema nutrini, sve se više gubi limonitna tvar i domala dolazimo do posve čistih dijelova krečnjaka. I na Debeljaku kod Stirovače u Velebitu iznad Jablanca možemo posmatrati metasomatsko ležište hematita, koji je postao iz krečnjaka.

Ako dodje u doticaj sa kalcitom (krečnjakom) otopina kojega drugoga karbonata, opet će kalcijski karbonat prijeći u otopinu, a na njegovom mjesto stupit će onaj karbonat, koji je bio u otopini, pa ćemo naći u prirodi više puta i vrlo važnih rudnih ležišta na pr. smitsonita  $ZnCO_3$ , rodohrozita  $MnCO_3$  i t. d., koji su postali metasomatozom. Metasomatozom su postali neki dolomiti  $CaCO_3 \cdot MgCO_3$  i magneziti  $MgCO_3$ . Tako je za velika ležišta magnezita od Veitscha kod Mitterdorfa u Štajerskoj dokazano, da su metasomatski produkti arhajskih i paleozojskih krečnjaka. U

<sup>1</sup> Od grč. *metá*, po i *sôma*, tijelo.

istočnim Alpama razvili su se arhajski paleozojski krečnjaci i škrlilici i njihove se naslage međusobno izmjenjuju. Vode su nosile sa sobom otopljen magnezijski karbonat i zalazile s njim u krečnjačke mase pretvarajući krečnjak u prvoj fazi u dolomit. Neprestanim priticanjem magnezijškoga karbonata sve je više nestajalo kalcijškoga karbonata, a razvijao se (u drugoj fazi) magnezijski karbonat:



Karbonati mogu postati i onda, kad voda, u kojoj ima ugljične kiseline, djeluje na sulfidne minerale (135). U takvom će slučaju od galenita  $PbS$  postati cerusit. Na taj su se način razvili cerusiti, što ih nalazimo u velikoj količini u Podrinju kod Postenja i cerusiti po željeznim rudnicima u Ljubiji. Halkopirit  $CuFeS_2$  i drugi bakarni sulfidi prelaze djelovanjem vode i ugljične kiseline u karbonate, pa ćemo gotovo svagdje, gdje su bakarni sulfidi došli u doticaj pomenutih dvaju reagensa, naći kako su pretučeni malahitom ili azuritom. Od sfalerita  $ZnS$  postaje na pomenuti način hidrocinkit. Iz sulfida, pa iz drugih minerala, mogu se razviti karbonati i onda, kada na sulfide (ili koje druge minerale) djeluje voda, u kojoj ima otopljenih bikarbonata.

Kako djelovanjem sumporne kiseline, koja se razvija pri trošenju (oksidaciji) sulfida, postaju iz nekih minerala sulfati, čuli smo u prijašnjem poglavlju (135). Isto će se tako djelovanjem fosforne kiseline razviti razni fosfati. Glavni izvor fosforne kiseline jest apatit  $(FCl)Ca_5(PO_4)_3$ . Djelovanjem vode i ugljične kiseline propada apatit prelazeći jednim dijelom u kalcijski karbonat, pri čemu se oslobadja fosforna kiselina, koja dolazi tako u otopine, što protiču kamenom korom. Ako takva otopina, u kojoj se nalazi fosforna kiselina, dodje u trajan dodir sa kojim mineralom, može ga pretvoriti u fosfat. Galenit će na pr. u trajnom dodiru sa fosforom kiselinom prijeći u piromorfit  $Pb_3(PO_4)_3$ , kako se to dogodilo na pr. kod nas na Adamuši kod Ljubije. Željezni minerali djelovanjem fosforne kiseline prelaze u željezne fosfate, a kakoksen  $PO_4Fe_2(OH)_3 \cdot 4\frac{1}{2}H_2O$ , kraurit  $PO_4Fe_2(OH)_3$ , strengit  $FePO_4 \cdot 2H_2O$ , eleonorit  $(PO_4)_2(Fe \cdot OH)_3 \cdot 2\frac{1}{2}H_2O$ . Fosforna kiselina može pretvoriti kalcit u fosforit (kristalasti apatit), minerale, u kojima ima aluminija, u aluminijske fosfate, na pr. u vevelit  $(PO_4)_2(Al \cdot OH)_3 \cdot 5H_2O$ , bakarne minerale u bakarne fosfate, na pr. u libetenit  $CuPO_4 \cdot (Cu \cdot OH)_3$ , fosforohalcit  $PO_4(Cu \cdot OH)_3$ , cinkane minerale u cinkani fosfat, u hopejit  $Zn_3P_2O_8 \cdot 4H_2O$ .

Fosforna kiselina ne mora direktno poticati od apatita. Može ona da bude organskoga porijekla. Iz vodenih otopina, u kojima se nalazi fosforna kiselina (potičući u prvom redu od apatita), uzima biljka za izgradnju svoga organizma fosfor. Biljka služi za život životinji, pa tako dolazi fosfor iz biljke u životinju, a kada biljka ili životinja ugine, vraća se fosfor kao

fosforna kiselina opet u otopine, što prolaze korom Zemljinom te služi ili za hranu biljci i životinji ili kao materijal, iz koga će se ponovice razviti koji fosfatni mineral. Mnogo se fosforne kiseline nalazi u gvano, u izmetinama ptica, na pr. po ostrvlju uz obalu Perua. Tu živi silesija ptica plivačica (*Laurus modestus*, *Rhyncops nigra*, *Pelecanus Gaimartii*, *Pelecanus thajus*, *Sula variegata*, *Carbo albigula*, *Plotus anhinga*, *Spheniscus Humboldtii*); one borave na ostrvlju i tu se gnijezde. Po računanju *Cookson-a* i *Hindle-a* žive na nekim malim otočićima oko 2 i po milijona ptica. Svaka ptica za vrijeme gnijezdenja (2 i po mjeseca) producira 25 do 50 funti gvana. Gvano je sastavljen od urinske, oksalne i masnih kiseline, od smole, od raznih dušičnih (azotnih) i sumpornih organskih spojeva, od fosforne kiseline, koja je vezana za kalcij, magnezij, amonijak i kalij, pa od nešto malo kremične kiseline. U pepelu peruanskoga gvana (nakon izgaranja) ima:

K <sub>2</sub> O .....	1,56— 2,03%
CaO .....	34,00—37,00
MgO .....	2,56— 2,00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .....	41,00—40,00.

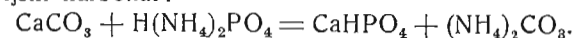
Kemijski sastav gvana (peruanskoga) pokazuje ova analiza:

Salmijak .....	2,25%
Amonijski urat .....	12,20
Amonijski oksalat .....	17,73
Amonijski fosfat .....	6,90
Amonijski karbonat .....	0,80
Amonijska so humusne kiseline .....	1,06
Amonijski-magnezijski fosfat .....	11,63
Kalcijski fosfat .....	20,16
Kalcijski oksalat .....	1,30
Kalcijski karbonat .....	1,65
Natrijski klorid .....	0,40
Natrijski sulfat .....	4,92
Kalijski sulfat .....	4,00
Smolinasta tvar .....	0,75
Pijesak i glina .....	1,68
Voda .....	4,31
Neodredjene organske tvari .....	8,26
	<hr/>
	100,00%

Dakako da će ovakav materijal biti izvor postajanja mnogih minerala. Rastvaranjem gvana i izlučivanjem nekih spojeva iz njega postaju razni minerali, na pr. tešemaherit (NH<sub>4</sub>)HCO<sub>3</sub>, oksamit (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, maskanjit (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, tajlorit 5K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>·(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, sterkorit ili prirodna fosforna so HNa(NH<sub>4</sub>)<sub>4</sub>PO<sub>4</sub>·4H<sub>2</sub>O, amonijski fosfat H(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> i t. d.

Za razvitak nekih kalcijskih i magnezijskih fosfata osobito je važno gvano sa koralnih ostrva. Voda ispire fosfate gvana i oni sa vodom dopijevaju u dublje dijelove koralnoga krečnjaka, gdje dolazi do kemijskih reakcija, uz koje se kalcijski karbonat pretvara u fosfate, u mineral brushit (brešit) HCaPO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O, metabrushit (metabrešit) H<sub>2</sub>Ca<sub>2</sub>P<sub>2</sub>O<sub>8</sub>·3H<sub>2</sub>O, martinit H<sub>2</sub>Ca<sub>5</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>4</sub>·1/2H<sub>2</sub>O i dr. Kako se u koralnom krečnjaku nalazi nešto magnezija, postaju u doticaju sa vodom, u kojoj je otopljenih fosfata, magnezijski fosfati mineral nuberijit HMgPO<sub>4</sub>·3H<sub>2</sub>O, hanajit (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>H<sub>4</sub>Mg<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>4</sub>·8H<sub>2</sub>O i struvit (NH<sub>4</sub>)MgPO<sub>4</sub>·6H<sub>2</sub>O. Dakako da i neki fosforiti mogu postati na pomenuti način.

A. *Gautier* našao je po pećinama numulitnih krečnjaka u južnoj Francuskoj (u južnozapadnom dijelu departmana Hérault) nekoliko fosfatnih minerala, koji su se razvili djelovanjem otopljenih fosfata na neke minerale. U pećinama se nalaze kosti diluvijskih i recentnih životinja, fina, nešto malo pjeskovita glina i sva sila izmetina šišmiša, koji žive u pećinama. Dok su zidovi i strop pećina izgrađeni od numulitnoga krečnjaka, dno je pećina sastavljeno od devonskoga kremenastoga krečnjaka. Sa stropa ruši se po koji komad numulitnoga krečnjaka i pada u finu pjeskovitu glinu; u njoj se nalaze grude gipsa, kongrecije krečnjaka, kalcijski i amonijski fosfat, kalcijski fluorid, dušični (azotni) spojevi i t. d. Komadi numulitnoga krečnjaka, što su pali sa stropa, prekriti su brushitom i metabrushitom, dok je u unutarnjim dijelovima numulitni krečnjak ušćuvan. U glini se nalazi plastični sloj, koji je u glavnom sastavljen od minerala minervita Al<sub>2</sub>P<sub>2</sub>O<sub>8</sub>·7H<sub>2</sub>O. Uz pomenute fosfate razvio se je još i trobazični kalcijski fosfat Ca<sub>3</sub>P<sub>2</sub>O<sub>8</sub>. Svi ti fosfati sadržavaju više ili manje kalcijskoga fluorida. *Gautier* drži, da su ti fosfati postali djelovanjem amonijskoga fosfata na kalcijski karbonat:



Tome analogno postao je aluminijski fosfat djelovanjem amonijskoga fosfata na glinu.

Postanak vivijanita Fe<sub>3</sub>P<sub>2</sub>O<sub>8</sub>·8H<sub>2</sub>O, što ga nalaze po tresetištima, pokostima i školjkama, vezan je za djelovanje fosforne kiseline ili otopine neke fosforne soli na željezne spojeve. *F. Becke* opisuje lijepe kristale vivijanita, koji se nalaze u kostima u ljubljanskom tresetištu. Tu je fosforna kiselina iz kosti došla u dodir željeznih soli i međusobnom kemijskom reakcijom razvio se vivijanit.

U vezi sa gvanom, po tumačenju *C. Ochsenius-a*, stoji i postanak čilske ili natrijske salitre NaNO<sub>3</sub>, što se nalazi u sušnim krajevima sjevernoga dijela južnoameričke države Chile u velikim ležištima u društvu sa kamenom soli, natrijskim karbonatom i drugim solima, koje obično nalazimo po ležištima kamene soli; u samoj salitri ima mala količina joda, no kako se salitra razvila u silnim masama, dobiva se iz nje vrlo mnogo



joda. *Ochsenius* drži, da su se tu nalazila nekad koncentrirana slaništa, čiji se je natrijski klorid pretvorio djelovanjem ugljične kiseline u natrijski karbonat. Potrebna ugljična kiselina za pomenutu kemijsku reakciju došla je iz vulkanskoga predjela Anda. Tako se je u slaništu uz ostale soli nalazila i znatna količina natrijskoga karbonata. Sa gvano-ostrva, što leže uz obalu Perua, nosili su zapadni vjetrovi amonijačni gvano; njegova dušična (azotna) organska tvar oksidirala se je djelovanjem atmosferskoga kisika i tako je došlo do razvitka dušične (azotne) kiseline, koja je stupila u kemijsku reakciju sa natrijskim karbonatom, pretvorivši ga u natrijski nitrat.

Ako dušična kiselina dodje u dodir sa kalijским solima, pretvorit će ih u kalijску salitru  $\text{KNO}_3$ . Po pećinama, gdje živi množina šišmiša, može se iz njihovih izmetina razviti amonijak, koji će oksidacijom prijeći u dušičnu kiselinu, a ona će u dodiru sa krečnjacima i dolomitima stvarati kalijскую salitru  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  ili magnezijскую salitru  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ .

Kod oksidacije arsenida, na pr. smaltina  $\text{CoAs}_2$  i kloantita  $\text{NiAs}_2$ , razvijaju se arsenijati. Pri tom se oslobadja i nešto arsenske kiseline, koja će u doticaju, na pr. kalcita, istisnuti ugljičnu kiselinu i tako razoriti kalcit, ali će se zato razviti novi minerali hajdingerit  $\text{CaHAsO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  ili farmakolit  $\text{CaHAsO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Ako se je arsenska kiselina namjerila na magnezijske minerale, može neke od njih uništiti, a mjesto uništena minerala pojavit će se magnezijски arsenijati na pr. reslerit  $\text{MgHAsO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , rozelit  $(\text{CaCoMg})_3\text{As}_2\text{O}_8 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  i t. d. Djelovanjem arsenske kiseline na cinkane, bakarne, željezne i manganske minerale, razvit će se cinkani, bakarni, željezni i manganski arsenijati.

Za kerargirit  $\text{AgCl}$ , bromit  $\text{AgBr}$ , jodit  $\text{AgJ}$ , koji se nalaze po rudnim žilama u Chile, drži se, da su postali djelovanjem morske vode, u kojoj ima klorida, bromida i jodida, na srebrne sulfide. Na ojednaki način postao je i laurionit  $\text{PbCl}(\text{OH})$  i fidlerit  $\text{Pb}_3\text{Cl}_4(\text{OH})_2$ , koji se nalaze na olovnim troskama (starima već preko 2000 god.) kod Lauriuma u Grčkoj, gdje je morska voda došla u doticaj sa olovnom troskom. Djeluje li morska voda na bakarne rude, razvit će se atakamit  $\text{CuCl}(\text{OH})$ .  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ , kakav se nalazi u Chile.

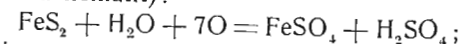
**137. Djelovanjem mineralne otopine na neke sulfide može doći redukcijom do razvitka novih minerala.** Voda, u kojoj se nalaze mineralne tvari, prodire u nutrinu kamene kore, gdje dolazi u doticaj sa raznim mineralima, koje otapa. Pa kako je ugljična kiselina pojačavala vodi njenu moć otapanja (133), tako će tu moć pojačavati i mineralne tvari, koje se nalaze otopljene u vodi. Koliko se povećava vodi moć otapanja, kad se u njoj nalazi koja tuđa tvar, neka pokaže ovaj primjer: u 100.000 uteznih dijelova vode uz temperaturu sobe otapa se od:

kamene soli .....	36.000	dijelova,
gipsa .....	250	„
„ u vodi zasićenoj $\text{NaCl}$ .....	817,5	„

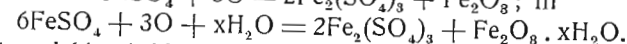
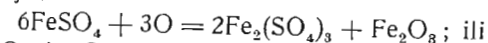
Metalni sulfidi, kojih ima mjestimice u kamenoj kori u velikim količinama, teško se otapaju u kemijski čistoj vodi; no ako se u vodi nalaze sulfidi alkalijskih kovina, na pr.  $\text{Na}_2\text{S}$ ,  $\text{K}_2\text{S}$  ili ferisulfat  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ , otapaju se lakše; zlato<sup>1)</sup> će se brže otopiti u vodi, ako u njoj ima ferosulfata  $\text{FeSO}_4$  i t. d.

Dogadja se kadikad, da se spojevi nekih metala, ako su otopljeni u vodi, izlučuju u formi sulfida, pa i u samorodnom stanju, kad dodju u doticaj drugih sulfida, naročito piritita. Prikazat ćemo šematski taj proces ovako:

Neka se negdje nalazi ležište piritita  $\text{FeS}_2$ , u kome se u vrlo malim količinama razvio mjestimice kao primjesina halkopirit  $\text{CuFeS}_2$ . Na površini, u oksidacionoj zoni, pirit se oksidira i prelazi najprije u ferosulfat i limonit (negdje i u hematit):

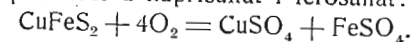


reakcija teče dalje:

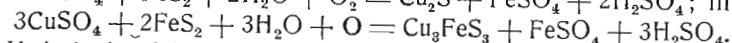
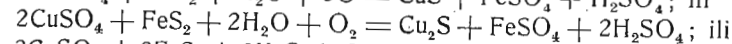
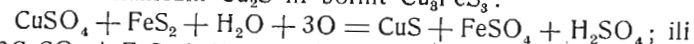


Pirit se dakle oksidacijom preobrazio na površini, u oksidacionoj zoni, u ferioksid, hematit, ili u ferihidroksid, limonit. Tako preobražene dijelove piritnoga ležišta zovemo „željeznim klobukom“. Ispod „željeznoga klobuka“ nalazi se svjež pirit, neoksidiran.

Ali u piritu ima, rekosmo, i neznatna količina halkopirita. I on oksidacijom stradava prelazeći u kuprisulfat i ferosulfat:



Bakarni i željezni sulfat ušli su tako u vodenu otopinu; željezni se sulfat već u zoni oksidacije, na površini ležišta, oksidira u hematit i limonit, a bakarni sulfat može sa vodom ući kroz pukotine i šupljine u dublje dijelove piritnoga ležišta, gdje je pirit posve uščuvan od oksidacije; došao je dakle metalni spoj (u našem slučaju bakarni sulfat) u doticaj sa piritom, pa će se razviti medju otopljenom i čvrstom tvari kemijska reakcija, pri čemu će se iz vodene otopine bakarna sulfata izlučiti bakarni sulfidi, kovelin  $\text{CuS}$  ili halkozin  $\text{Cu}_2\text{S}$  ili bornit  $\text{Cu}_3\text{FeS}_3$ :



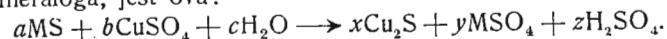
U doticaju dakle piritita i otopine metalnoga spoja izlučili su se iz vodene otopine razni sulfidi; u našem slučaju izlučio se je iz otopine bakarnoga sulfata mineral kovelin  $\text{CuS}$ , halkozin  $\text{Cu}_2\text{S}$  i bornit  $\text{Cu}_3\text{FeS}_3$ . Na taj način mogu se razviti razne sulfidne rude, na pr. galenit, halkopirit, sinjavac (tetraedrit), a i samorodni metali, na pr. bakar, srebro, zlato, ako se je samo reakcija do kraja razvila:

<sup>1)</sup> Inače  $\text{FeSO}_4$  obara zlato iz njegovih soli otopljenih u vodi; na pr. iz otopine  $\text{AuCl}_3$ .

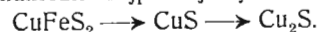


One dijelove rudnoga ležišta, gdje dolazi do razvitka minerala pri doticaju vodenih otopina metalnih spojeva sa metalnim sulfidom, zovemo *cementacionom zonom*. Dok je oksidaciona zona uvijek na površini ili blizu površine, dotle se cementaciona zona nalazi u dubljim dijelovima kamene kore; u oksidacionoj zoni razvijaju se minerali *oksidacijom*, a u cementacionoj zoni *redukcijom*. To je i jasno, jer se prema nutrini kamene kore gubi sve više kisika, koji je bio otopljen u vodi. Najviše se toga kisika potroši pri oksidaciji sulfida u najgornjim dijelovima oksidacione zone. Isto se tako i ferisulfat, koji je jako oksidaciono sredstvo, putem prema dubljim dijelovima reducira u ferosulfat. U cementacionoj zoni nalaze se dakle neutralne otopine ferosulfata i kuprisulfata uz suvišak svježih metalnih sulfida.

Kakove se kemijske reakcije vrše u cementacionoj zoni, ispitivali su američki mineralozi, članovi Carnegie-eva instituta, *E. G. Zies, E. T. Allen* i *H. E. Mervin*. Oni su djelovali na vještačke (sintetske) i prirodne sulfide sa 5%-tnom otopinom kuprisulfata  $\text{CuSO}_4$  uz temperaturu od 40°, 100° i 200°. Za pokuse su upotrijebili ove minerale: halkozin, kovelin, bornit (formule  $\text{Cu}_3\text{FeS}_8$ ), halkopirit, pirotin, pirit, sfalerit, galenit. Pri reakciji razvio se je kao produkt kemijskoga djelovanja bakrom bogati spoj i to gotovo uvijek sulfid. Samo u jednom slučaju razvio se je elementarni bakar i kuprit. U otopinu je prešao sulfid u formi sulfata i slobodna sumporna kiselina. Općena šema procesa pri cementaciji na osnovu pokusa pomenutih mineraloga, jest ova:



Pri ovim reakcijama izlučuju se kao čvrsti spojevi halkopirit, kovelin, halkozin. Halkopirit i kovelin, kao međuprodukti, prelaze uz daljnju reakciju kuprisulfata i sumporne kiseline u konačni produkt cementacionih procesa, u halkozin tako, da je halkozin najpostojaniji bakarni sulfid:



Bornit  $\text{Cu}_3\text{FeS}_8$ , koji dolazi u cementacionoj zoni, na pr. kod nas u Boru, nije pri pokusima američkih mineraloga sa sigurnošću konstatiran. Halkopirit i kovelin, koji se takodjer nalaze u cementacionoj zoni borskoga rudnika, u toliko su postojaniji, u koliko je manja koncentracija kuprisulfata  $\text{CuSO}_4$  i što je veća površina sulfida, koji se preobražava.

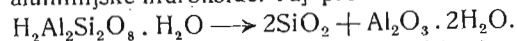
Oksidaciona i cementaciona zona vrlo su važne za razvitak ruda. U tim zonama gomilaju se neke rude, kojih u ležištu prije oksidacije ili redukcije nije bilo, pa tako od ležišta, koje nije bogato izvjesnim rudama, postaje bogato rudno ležište. Osobito lijep primjer cementacione zone nalazimo kod nas u Istočnoj Srbiji kod Bora, gdje su se razvile silne količine pirita, u kome ima nešto malo halkopirita. U oksidacionoj zoni došlo je do razvitka limonitne tvari, dok se u dubljim dijelovima borskoga rudnika, u cemen-

tacionoj zoni, gdje je došlo do redukcije otopljenoga bakarnoga sulfata, razviše bakarni sulfidi, kovelin, bornit i halkozin, koji su se tamo sabrali u znatnoj količini tako, da je borski rudnik na glasu sa svoga bakarnoga bogatstva. Oksidacionu zonu, gdje se razvio željezni klobuk, nalazimo u Gorskom Kotaru kod Mrzle Vodice u Hrvatskoj. Tu je sastavljen željezni klobuk pretežito od hematita uz nešta malo magnetita i limonita, dok u dubljim dijelovima leži pirit. Isto tako možemo posmatrati oksidacionu zonu u željeznim rudnicima kod Ljubije u Bosni. Tamo se dižu čitava brda limonita, koji izbija na površinu. Već pomnijim posmatranjem možemo naći po pukotinama limonita vrlo lijepe pseudomorfoze (144) limonita po sideritu, što nas upućuje, da je taj limonit postao metamorfozom iz siderita. I doista u dubljim dijelovima rudnika, koji su otvoreni pri otkapanju limonita, nadjena su ležišta siderita, do kojega još nije dopro proces oksidacije. Siderit je mjestimice uprskan galenitom (i sfaleritom). U oksidacionoj zoni metamorfozirao se galenit djelomice u cerusit (a nadje se i nešto malo anglezita).

**138. Kod nestajanja i postajanja minerala saradjuju i neki organizmi.** Govoreći o izlučivanju minerala iz vodene otopine kazali smo, da kod toga izlučivanja saradjuju i neke životinje i biljke. Ali dok je to bilo stvaralačko djelovanje izazvano životnim procesima životinja i biljki, to živi organizmi, naročito biljke, da se održe na životu, razaraju minerale; uništavaju ih. To je uništavanje opet vezano za neke životne procese, jer biljka mora da uništi mineral, ako hoće sama da se održi u životu; iz minerala crpa hranu, od mineralnih elemenata gradi svoje tijelo. Većina biljki crpaju hranu svojim korijenjem iz vodenih otopina, u kojima se nalaze razne mineralne tvari. Ali ima i takvih biljki, koje same razaraju mineral vadeći iz njega potrebite elemente. Po gromadama stijena često ćemo naći razne mahovine, lišaje i alge, kako malo po malo rastaču kamen vadeći iz njegovih minerala pojedine elemente. U našem kršu, gdje su se razvile nepregledne krečnjačke (i dolomitne) stijene, naći ćemo na svakom koraku mahovina i lišaja, kako sa svojim dlačicama, t. zv. rizoidima i tanušnim končićima, t. zv. hifama sve dublje zadiru u tvrdnu stijenu, da iz nje izvuku elementat kalcij. Mjestimice je površina krečnjačkih stijena sva izgrizena, te je puna sitnih šupljina i brazdica, koje se šire i razgranuju po površini kamena na sve strane, pa su možda te izjedine pridonijele štogod razvitku škrapa, onih preraznojkih izdubina na površini naših krečnjačkih stijena. Ima biljki, lišajeva, koje žive na kamenim stijenama, što su izgrađene od silikatnih minerala, pa i na samu kremenu.<sup>1)</sup> Tu su se nastanile

<sup>1)</sup> Vanredno lijepih primjera, kako lišajevi žive na čistu kremenu (kvarcu), nalazimo u planini Selečkoj u Južnoj Srbiji, naročito na Dve Stene kod Prilepca. Tamo se je uz gnajs razvio u velikoj količini kremen bjelutak, koji je sav obrastao lišajevima; živući na njemu troše njegovu tvar tako, da ga pomalo uništavaju.

radi hrane, te mineral po malo otapaju oduzimajući od njega ono, što im treba. Na taj način biljka razara minerale. Samo u nekim slučajevima biljka uništavajući mineral stvara u isti čas novi. Rade tako, kako je to dokazao ruski mineralog *V. I. Vernadskij*,<sup>1)</sup> neke dijatomeje, koje trebaju za svoje opstojanje kremičnu kiselinu. One znadu kaolinu  $H_2Al_2Si_2O_8 \cdot H_2O$  i nekim alumosilikatima oduzeti kremičnu kiselinu  $SiO_2$ , pa preobražavaju alumokremičnu kiselinu u aluminijske hidrokside. Taj proces kod kaolina teče ovako:



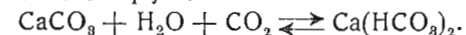
Taj proces, što ga obavljaju dijatomeje, može biti od goleme važnosti po razvitak aluminijskoga hidroksida, koji se dugotrajnim vremenom gomila u sve većim količinama zalazeći u neke sedimentne stijene, na pr. u krečnjake, iza kojih, nakon otapanja, ostaje kao neotopljeni ostatak, kao terra rossa (139).

**139. Kod nestajanja i postajanja minerala dolazi do propasti stijena.** Većina procesa, što se vrše kod nestajanja i postajanja minerala, vrše se na površini Zemljinoj i to, kako smo vidjeli, ponajviše djelovanjem vode, ugljične kiseline i kisika, a ponešto i djelovanjem organizama i to djelovanjem njihovih životnih procesa i njihovim truljenjem. Vodu, ugljičnu kiselinu, kisik, što iz atmosfere dospijevaju na površinu Zemlje te tu uništavaju i stvaraju minerale, zovemo zajedničkim imenom *atmosferilija*, a procese, što se zbivaju na površini Zemljinoj kod nestajanja i postajanja minerala djelovanjem atmosferilija, zovemo *trošenjem minerala*, (njem. Verwitterung). Trošenjem se mineral ili otapa ili se kod toga trošenja razvijaju oksidi, t. j. dolazi do oksidacije minerala, ili se razvijaju hidroksidi, t. j. dolazi do hidratizacije minerala, ili se razvijaju karbonati, t. j. dolazi do karbonatizacije minerala. No kako u vodu zalaze kod tih procesa mnoge mineralne tvari, dolazi među otopljenim i neotopljenim mineralnim tvarima do različitih kemijskih reakcija, kojih je posljedica postanak različitih minerala. Novi minerali, koji postaju djelovanjem atmosferilija, trošenjem, izlučuju se iz vodenih otopina, uz izuzetke nekih lako topljivih kristaloida, na pr. gipsa, željezne galice, kalcijskoga kiseloga karbonata i t. d., uvijek kao geli, kao amorfni minerali, koji tek kasnije tokom dugoga vremena postaju kristalasti.

Trošenje minerala dovodi stijenu do potpune propasti. Stijene su, kako je poznato, izgrađene od jednoga ili više minerala (1), među kojima su najvažniji silikatni i alumosilikatni minerali, t. j. spojevi nekih metala (Na, K, Mg, Ca, Fe, Mn i t. d.) sa kremičnom ili alumokremičnom kiselinom. Kad atmosferilija zahvate stijenu, počinju kemijski djelovati na njezine sastavne dijelove, na minerale; neke jednostavno otope, a neke razore tako, da jedan njihov dio pretvore u otopinu, dok drugi dio ostane kao čvrsto tijelo, kao mineral. Ako u stijeni ima na pr. nešto malo kalcita

<sup>1)</sup> Važnost žive materije pri postajanju minerala naročito je lijepo prikazao *V. I. Vernadskij* u djelima: *Живое вещество в химии моря*. Петроград 1923. — *Биосфера*. Ленинград 1926. — *Очерки Геохимии*. Ленинград 1927.

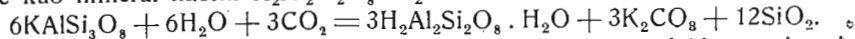
$CaCO_3$ , pa ga zahvate atmosferilija (voda sa ugljičnom kiselinom), on će kemijskim djelovanjem vode i ugljične kiseline prijeći u kiseli kalcijski karbonat, koji je u vodi topljiv:



Kalcit je dakle djelovanjem atmosferilija prešao u otopinu; od njega nije ništa ostalo. Ovaj je kemijski proces vrlo važan naročito za krajeve našega krša, koji je zapremio golem prostor u našoj domovini sve tamo od Slovenskih Alpa šireći se preko Istre i Gorskoga Kotara u Hrvatsko Primorje, Liku i Krbavu, pa dalje u Dalmaciju i na njene otoke, te u jedan dio Bosne, Hercegovine i Crne Gore do Albanije. Sav je taj krš izgrađen od grdnih masa karbonatskog stijenja, od krečnjaka i dolomita. Krečnjak je sastavljen od samoga kalcita uz neznatnu količinu drugih mineralnih tvari, koje jedva da dosežu i 0,5%; dolomit je opet izgrađen od bezbroja dolomitskih individua, koji su po kemijskom sastavu kalcijski magnezijski karbonat  $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ . I u dolomitima ima jako malo (oko 0,5%) drugih mineralnih tvari. Kad vapnenjačke i dolomitske stijene zahvate atmosferilija, ona će ih otopiti u kalcijski i magnezijski kiseli karbonat  $Ca(HCO_3)_2$  i  $Mg(HCO_3)_2$ , koji će s vodom otići dalje, a ostat će kao neotopljene one mineralne tvari, kojih je bilo u krečnjacima i dolomitima tek oko 0,5%. Ta neznatna količina neotopljenih mineralnih tvari bit će jedino tlo, jedina zemlja-mekota, na kojoj će moći uspijevati biljka. Radi toga su krajevi našega krša goli, zbog toga ima u tim krajevima malo zemlje. Nalazimo je po šuplinama, propuklicama, udolinama, ponikvama, dulibama, kamo ju je voda nanijela; ona je crvene boje, pa je zovemo *zemljom crvenicom* (terra rossa). Crvenica je tipski koloid, gel, a sastavljena je pretežito od aluminijskoga hidroksida, sporogelita  $Al_2O_3 \cdot xH_2O$ , koji je adsorbovao neku količinu željeznoga oksida i hidroksida, pa neku količinu, kremične i titanske kiseline i vodu. Među tim koloidnim tvarima ima i po koji sitan kristalić kremena, cirkona, rutila, turmalina i t. d. Crvenica kao koloid, gel, upija znatnu količinu vode, ali je teško otpušta; to je važna osobina, jer u onim krajevima, gdje se ona nalazi, zna zavladata ljeti velika suša sa silnom sunčanom žegom, pa da u crvenici nema vlage, koju ona čvrsto drži, brzo bi se sve posušilo.

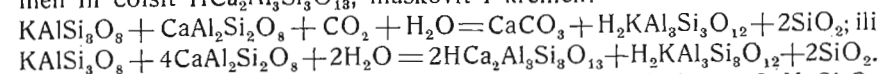
Posve je to drugačije u krajevima, gdje su se razvile stijene, koje su izgrađene od silikatnih minerala, a takove su eruptivne stijene, kristalasti škrljci i većina taložnih stijena. Kad atmosferilija zahvate takvu stijenu, djeluju kemijski na njezine sastavne dijelove, na minerale, te ih razaraju na taj način, da jedan dio njihov pretvore u otopinu, dok drugi dio ostane kao čvrsta tvar, kao nov mineral (133). Neka je na pr. gnajs (stijena iz odjela kristalastih škrljaca), koji se u nekim našim gorama razvio u silnim masama, zahvatilo trošenje. Gnajs je sastavljen u glavnom od kalijškoga glinenca (feldšpata), tinjca (liskuna) i kremena (kvarca).

Tinjac (naročito muskovit) i kremen dosta su otporni, pa će im voda i ugljična kiselina malo nauditi, ali će zato stradati kalijski glinenac (ortoklas ili mikroklin)  $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ; njega će voda i ugljična kiselina početi razarati i on će jednim dijelom prijeći u otopinu kao kalijski karbonat  $\text{K}_2\text{CO}_3$  i kremična kiselina  $\text{SiO}_2$ , a drugim dijelom u alumokremičnu kiselinu, koja će kao mineral kaolin  $\text{H}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \cdot \text{H}_2\text{O}$  ostati u formi sitnih čestica:

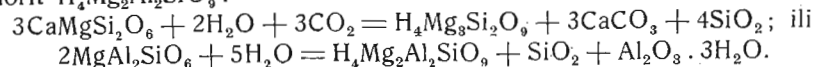


Kalijski glinenac (ortoklas ili mikroklin) raspao se dakle, pa je od njega ostao samo kaolin, koji se kao koloid, kao gel sakuplja po pukotinama gnajsa u sitnim česticama. Ali što se dogodilo sa gnajskom kod takoga trošenja? Jedan se njegov sastavni dio, glinenac, koji je bio tvrd i čvrsto povezan s ostalim sastavcima, kremenom i tinjcem, pretvorio trošenjem u sitne čestice kaolina, koje će voda iz gnajsa vrlo lako isprati i dalje ih sa sobom ponijeti, da ih negdje na zgodnu mjestu staloži. Među pojedinim sastavnim dijelovima gnajsa nema dakle više one čvrste veze, što je postojala, dok je bio svjež, i on se lako raspada<sup>1)</sup> nešto u kremen a nešto u tinjac; gnajsa tako po malo nestaje, a njegov istrošeni materijal raznosi voda i taloži ga na mjestima, gdje joj je tok sustao. Proces taj traje vijekovima; trošenjem propada stijenje, a njihov istrošeni materijal postaje zemljom mekotom, na kojoj će se nastaniti biljka. Sva zemlja mekota, zemlja njiva, livada i šuma nije ništa drugo nego ostatak istrošenih minerala, što su nekad sastavljali tvrde stijene.

Pri trošenju silikatnih stijena ili tačnije njihovih mineralnih sastavaka dolazi do razvitka i drugih minerala, a ne samo kaolina. Ako se uz kalijski glinenac  $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$  nalazi koji plagioklas, na pr. kalcijski glinenac  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ , može se razviti kalcit, muskovit  $\text{H}_2\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{12}$  i kremen ili coisit  $\text{H}_2\text{Ca}_2\text{Al}_3\text{Si}_3\text{O}_{18}$ , muskovit i kremen:



Ima li u stijeni magnezijjskih silikata, na pr. piroksena  $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$  (ili amfibola), može se trošenjem razviti iz njih serpentin  $\text{H}_4\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_9$  i klorit  $\text{H}_4\text{Mg}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_9$ :



Dok se dakle djelovanjem atmosferilija ili trošenjem karbonatske stijene, krečnjaci i dolomiti, otapaju ostavljajući neznatan ostatak zemlje crvenice, dotle se silikatne stijene tek jednim i to neznatnim dijelom otapaju, a većim dijelom prelaze u razne minerale, od kojih su jedni koloidi, a jedni kristaloidi. Među koloidima je osobito raširen gel alumokremične kiseline t. j. kaolinska ili glinena tvar, pa željezni hidroksid. Zato će tro-

<sup>1)</sup> U Južnoj Srbiji (po Marijovu i u okolini Prilepa) zovu seljaci gnajsa *trošlikom* i *gnjilim kamenom* zbog toga, što se raspada.

šenjem silikatno stijenje davati uvijek veliku količinu materijala, što sastavlja mekotu zemlju, koja će biti sastavljena od sitnih čestica raznih koloidnih minerala, od gela, naročito od glinene tvari, pa od željeznoga hidroksida, kremične kiseline i t. d. Među tim koloidnim mineralima, gelima, bit će sad više sad manje sitna kršja od onih minerala (kremena, muskovita, cirkona i t. d.), koji su se oduprli kemijskom razaranju atmosferilija; njih je voda mehaničkim svojim djelovanjem, a ne kemijskim, smrvila u sitne čestice, pa ih zajedno sa produktima trošenja, sa raznim gelima, izmiješala u mekotu zemlju. Što u zemlji bude više toga kršja, bit će ona pjeskovitija, lakše će propuštati vodu, pa će se za sušnih dana brzo isušiti.

Trošenje minerala stoji do *klimskih prilika*, pa će uz razne klimske uticaje doći i do različita trošenja minerala. U krajevima, gdje vlada umjerena klima, trošit će se alumosilikatni minerali djelovanjem atmosferilija u kaolinsku tvar, koja će, kao koloid, adsorbovati neku količinu željeznoga hidroksida i prijeći će tako u glinu ili zemlju žutulju. Zato je zemlja žutulja karakterističan produkt trošenja silikatnih stijena u krajevima umjerene klime. Da vidimo, kako se trošenjem u krajevima umjerene klime preobražava silikatna stijena u zemlju žutulju, neka pokažu ove dvije kemijske analize svježega amfibolnoga granita (I.) od Heidelberga i istoga toga granita, koga je zahvatilo trošenje (II.):

	I.	II.
$\text{SiO}_2$ .....	63,57%	63,24%
$\text{TiO}_2$ .....	0,55	—
$\text{Al}_2\text{O}_3$ .....	14,69	16,63
$\text{Fe}_2\text{O}_3$ .....	1,79	4,45
$\text{FeO}$ .....	3,11	0,40
$\text{CaO}$ .....	3,84	0,90
$\text{MgO}$ .....	2,82	1,50
$\text{K}_2\text{O}$ .....	4,07	7,73
$\text{Na}_2\text{O}$ .....	4,26	1,72
$\text{P}_2\text{O}_5$ .....	0,24	0,30
$\text{H}_2\text{O}$ .....	0,95	3,24
$\text{CO}_2$ .....	—	0,28
	<hr/> 99,89%	<hr/> 100,39%

Iz navedenih analiza jasno se razabira, kako je trošenjem granita došlo do oksidacije i hidratizacije. Gotovo sav ferooksid  $\text{FeO}$  prešao je u ferioksid  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . U rastrošenom granitu povećao se sadržaj aluminijskoga oksida  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; on stvara sa kremičnom kiselinom  $\text{SiO}_2$  i vodom  $\text{H}_2\text{O}$  kaolinsku tvar, koje u svježem granitu uopće nije bilo. Kaolinska tvar, kao koloid, adsorbovala je željezni hidroksid i dobila od njega žutu boju, postala je zemlja žutulja. Još se lijepo iz analize razabira, kako je u trošnom granitu došlo do nagomilavanja kalijskoga oksida  $\text{K}_2\text{O}$ , koji služi kao hrana bilju; isto se tako povećala i količina fosforne kiseline  $\text{P}_2\text{O}_5$ , koju takodjer treba biljka.

U krajevima, gdje vlada tropska klima, produkti trošenja nemaju gotovo ništa kremične kiseline, ali se zato u velike razvio aluminijski oksid  $\text{Al}_2\text{O}_3$  i željezni oksid  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ; silikatna stijena prelazi trošenjem u tropskim krajevima u *laterit*, koji je u glavnom sastavljen od hidrargilita  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , negdje i od dijaspora  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  i željeznoga oksida  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Kako u tropskim krajevima prelazi silikatna stijena u laterit, neka pokažu ove analize svježega dijabaza (I.) i trošnoga dijabaza (II.) od Punaha kod Bombay-a:

	I.	II.
$\text{SiO}_2$ .....	50,4%	0,7%
$\text{TiO}_2$ .....	0,9	0,4
$\text{Al}_2\text{O}_3$ .....	22,2	50,5
$\text{Fe}_2\text{O}_3$ .....	9,9	23,4
$\text{FeO}$ .....	3,6	—
$\text{MgO}$ .....	1,5	—
$\text{CaO}$ .....	8,4	—
$\text{Na}_2\text{O}$ .....	0,9	—
$\text{K}_2\text{O}$ .....	1,8	—
$\text{H}_2\text{O}$ .....	0,9	25,0
	100,5%	100,0%

Kako se iz ovih analiza razabira, prešao je dijabaz trošenjem većinom u aluminijski i željezni oksid i vodu, t. j. došlo je do tvorbe laterita, koji je sastavljen od hidrargilita; njemu je primiješana znatna količina željeznoga oksida, od koga je lateritu crvena boja poput cigle. Gdje se silikatna stijena pretvoriti gotovo u čisti hidrargilit, u komu je vrlo malo željeznoga oksida, kako to pokazuju ove dvije analize svježega (I.) i trošna (II.) granita:

	I.	II.
$\text{SiO}_2$ .....	72 %	{ Netopljiva $\text{SiO}_2$ .. 3,32%
$\text{Al}_2\text{O}_3$ .....	16	{ Topljiva $\text{SiO}_2$ ... 1,29
$\text{Fe}_2\text{O}_3$ )	1,5	$\text{Al}_2\text{O}_3$ .. 60,86
$\text{FeO}$ )		
$\text{CaO}$ .....	1,5	—
$\text{MgO}$ .....	0,5	—
$\text{K}_2\text{O}$ .....	6,5	—
$\text{Na}_2\text{O}$ .....	2,5	—
$\text{H}_2\text{O}$ .....	—	33,42
	100,5%	99,89%

Kod trošenja silikatnih stijena u tropskim krajevima ne razvija se uvijek aluminijski hidroksid kao hidrargilit  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , nego, kako je to dokazao *H. Warth*, i kao dijaspor  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , na koga otpada i do 40% Al od cjelokupne količine  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Produkti trošenja mogu služiti kadikad kao *geološki termometar* u toliko, što njihova crvena boja, koja potiče od željeznih hidroksida vodom siromašnih, dolazi samo u materijalu, koji je postao trošenjem u tropskim

i suptropskim stranama; t. j. u tropskim i suptropskim krajevima razvijaju se trošenjem pretežito željezni oksidi bez vode ili sa vrlo malo vode, a oni su u takom stanju crvene boje. U krajevima umjerene klime razvijaju se trošenjem željezni hidroksidi sa mnogo vode, a oni su žute boje. Prema tome je baš boja produkata trošenja geološki termometar.

Ali kao geološki termometar može da služi i omjer između  $\text{SiO}_2$  i  $\text{Al}_2\text{O}_3$ : krajevi sa sve toplijom klimom daju produkte trošenja sa sve manjom količinom  $\text{SiO}_2$ , a sa sve većom količinom  $\text{Al}_2\text{O}_3$  tako, da u produktima trošenja tropa i subtropa kremične kiseline gotovo i nema, a  $\text{Al}_2\text{O}_3$  nagomilao se u velikoj količini; u krajevima hladne klime produkti trošenja imaju vrlo mnogo kremične kiseline, a malo aluminijska.

**140. Trošenjem stijene se raspadaju, ali od rastrošenoga materijala postaju nove stijene.** Vidjeli smo, kako voda sa svojim pomagačima, ugljičnom kiselinom i kisikom, razara stijene; to je trošenje stijena. Negdje se tome trošenju pridružuju, organizmi, bilje i životinje, koji takodjer mogu da razore razne stijene. Dakako pri tom propadanju stijena propadaju zapravo minerali, od kojih jedan dio prelazi u otopinu, a jedan ostaje u čvrstom stanju. I mineralne otopine i čvrste čestice minerala razne vode potocima i rijekama u jezera i mora, gdje se sav taj mineralni materijal neprestano sakuplja. Iz mineralnih otopina razvijaju se, vidjeli smo (129), razni minerali, stvarajući negdje čitave naslage, kao što su na pr. naslage kamene soli i gipsa. Kako su ovakve naslage *samostalni geološki dijelovi kamene kore*, ubrajamo ih među stijene; po svome postanku one su *kemijski talozi ili precipitati*<sup>1)</sup>, pa ih zovemo i *precipitatnim stijenama*.

Dakako da voda može razoriti mnogo stijenu i svojim mehaničkim a ne samo kemijskim djelovanjem. Voda potkapa po planinama svojim tokom tvrdo kamenje kroz vijekove i vijekove, a ono se po malo ruši, pada u korito potoka, gdje ga voda dalje valja i drobi u manje i sitnije komade, dok ga napokon ne smrvi u sitan pijesak i prah. I taj mehanički sitniž ili detritus<sup>2)</sup> nosi voda potocima i rijekama u jezera i mora, gdje ga taloži. Osobito mnogo toga mineralnoga kršja i sitniža nosi voda za vrijeme velikih kiša. Potoci i rijeke tada su mutne, a taj mutež nije ništa drugo nego sićušne čestice mineralnih, pretežito glinenih, tvari.

Od svega toga mehaničkoga kršja ili klastičnoga<sup>3)</sup> mineralnoga materijala sagradit će se opet nove stijene. Kako u vodi ima mineralnih otopina, naročito kalcijskoga bikarbonata, a negdje i kremične kiseline, počat će se u zgodnim prilikama izlučivati kalcijski karbonat i hvatat će se oko pojedinih skršenih komada sve više i više pa će kao cement slijepiti sav taj detritus u jednu cjelinu, u čvrstu stijenu. Negdje mjesto kalcijskoga kar-

<sup>1)</sup> Od lat. *praecipitare*, obarati.

<sup>2)</sup> Od lat. *détritus*, obrušen.

<sup>3)</sup> Od grč. *klásis*, kršenje.

bonata može da se izluči kremična kiselina kao kremen, koji će povezati u čvrstu stijenu nekad različiti kameni i mineralni materijal, pa će tako kremen cement držati u čvrstom stanju klastični materijal. Stijene, koje su postale od kamenoga i mineralnoga kršja, od klastičnoga materijala, zovemo *klastičnim stijenama*. I precipitativne i klastične stijene postale su taloženjem u morima ili jezerima, pa ih zovemo *taložnim* ili *sedimentnim*<sup>1)</sup> *stijenama*; uz eruptivne stijene taložne su stijene druga velika grupa stijena, koje izgrađuju čvrstu koru Zemljinu. Kako su većinom postale iz mehaničkoga detritusa silikatnih stijena i one su u glavnom izgrađene od silikatnih minerala. Ako je klastični materijal ovećih dimenzija, krupan, razvit će se od njega cementiranjem konglomerat ili breča. Konglomerat je sastavljen od zaobljenih komada, koje je voda valjanjem zaoblila, a breča od oštih komada, koje voda nije dospjela da valjanjem i koturanjem zaobli. Od pijeska razvit će se cementiranjem razni pješčenjaci, a od finoga mulja kvarciti, lapori, brusilovci i t. d.

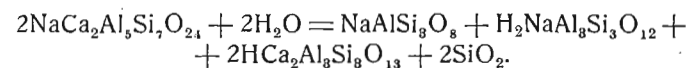
**141. Do nestajanja i postajanja minerala dolazi i u dubinama Zemljinim.** Nisu minerali samo na površini Zemljinoj izvrnuti procesima nestajanja i postajanja. Govoreći o cementacionoj zoni (137), vidjeli smo, kako i u dubinama Zemljinim, kamo ne dopiru atmosferilija, dolazi do preobražavanja minerala, do njihova nestajanja i postajanja. Tako smo vidjeli, kako se iz otopine kuprulsulfata u doticaju sa piritom izlučuju bakarni sulfidi, a pirita nestaje, prelazeći u otopinu ferosulfata. Kako u dubinama Zemljinim kroz kamenu koru prolazi voda, u kojoj ima raznih mineralnih otopina, dolazi među otopinama i do kemijskih reakcija, pri kojima se razvijaju razni minerali.

Kemijski procesi, što se vrše kod nestajanja i postajanja minerala u dubinama Zemljinim ispod one zone, gdje djeluju atmosferilija, vrše se uz osobite prilike. U tim dubokim dijelovima ne samo da su temperatura i tlak viši negoli na površini Zemljinoj, nego su i temperatura i tlak u tim dubinama uvijek stalni; uz te konstantne termijsko-dinamske prilike djeluje voda na minerale. Često je puta voda vrlo visoke temperature, pa ovako vruća djeluje na mnoge minerale, naročito na silikatne; i može tokom duga vremena preobraziti čitavu stijenu. Ako se na pr. u nekoj stijeni nalazi bazični plagioklas  $\text{NaCa}_2\text{Al}_5\text{Si}_7\text{O}_{24}$ , u kom je uvijek nešto malo ortoklasa  $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ , prijeći će on djelovanjem vode uz veliki tlak i temperaturu u t. zv. sosirit, u mješavinu, koja je sastavljena od albita  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$  i coisita (pistacita)  $\text{HCa}_2\text{Al}_3\text{Si}_3\text{O}_{13}$ , te u muskovit  $\text{H}_2\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{12}$  i kremičnu kiselinu  $\text{SiO}_2$ :

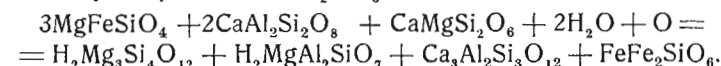
$$2\text{NaCa}_2\text{Al}_5\text{Si}_7\text{O}_{24} + \text{KAlSi}_3\text{O}_8 + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 + 2\text{HCa}_2\text{Al}_3\text{Si}_3\text{O}_{13} + \text{H}_2\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{12} + 2\text{SiO}_2.$$

Negdje će se uz sosirit razviti mjesto muskovita paragonit  $\text{H}_2\text{NaAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{12}$ :

<sup>1)</sup> Od lat. *sedimentum*, talog.



Nalazi li se u stijeni olivin  $\text{MgFeSiO}_4$ , anortit  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$  i piroksen  $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ , može ih voda djelovanjem velikoga tlaka i temperature pretvoriti u milovku  $\text{H}_2\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{12}$ , sismondin  $\text{H}_2\text{MgAl}_2\text{SiO}_7$ , grosular  $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$  i u jedan željezni piroksen  $\text{FeFe}_2\text{SiO}_6$ :

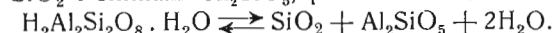


Molekula  $\text{FeFe}_2\text{SiO}_6$  ulazi u sastav amfibola, koji se stvara u dubinama pri pomenutim metamorfozama.

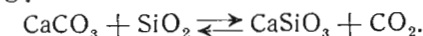
Procese preobražavanja minerala, što se vrše u dubinama Zemlje, zovemo *rastvaranjem* (njem. *Zersetzung*); oni se vrše kroz dugotrajno vrijeme, vijekovima; takovo dugotrajno vjekovno preobražavanje minerala zovemo *sekularnim*<sup>1)</sup> preobražavanjem ili metamorfozom. Konačna je posljedica sekularne metamorfoze minerala potpuno preobraženje kamena. Kako se procesi sekularnoga preobražavanja minerala vrše uz konstantne prilike: uz veliki tlak i visoku temperaturu, novi se minerali, koji postaju pri tim procesima, razvijaju redovito kao kristaloidi, za razliku od onih minerala, koji postaju atmosferskim trošenjem, a koji se razvijaju kao koloidi.

**142. Do preobražavanja minerala može doći pri doticaju magme sa susjednom stijenom.** Kad magma provali iz dubina Zemljinih, pa se na svom putu prema površini zaustavi negdje u kamenoj kori, nalazi se ona u dodiru sa okolnim stijenama te uzrokuje u njima razne promjene, koje dovode do propasti starih i do razvitka novih minerala: na kontaktu magme sa okolnim stijenama dolazi dakle do preobražavanja minerala, koje je poznato pod imenom *kontaktne*<sup>2)</sup> *metamorfoze*.

Došavši u kontakt sa kojom čvrstom stijenom, djeluje na nju magma svojom visokom temperaturom, zbog koje dolazi u mineralima stijene do poremećaja u ravnoteži; oni se raspadaju u svoje sastavke ili stupaju u međusobne reakcije, kojih je posljedica nestajanje starih a postajanje novih minerala. Dodje li magma u kontakt sa stijenom, u kojoj se nalaze glinene tvari, na pr. kaolin  $\text{H}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , raspast će se djelovanjem visoke temperature kaolin, a od njegovih sastavaka razvit će se dva nova minerala, kremen  $\text{SiO}_2$  i silimanit  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$ , pri čemu će se osloboditi voda:



Ima li u stijeni kalcita  $\text{CaCO}_3$  i kremena  $\text{SiO}_2$ , razvit će se djelovanjem visoke temperature iz ta dva minerala volastonit  $\text{CaSiO}_3$ , pri čemu će se osloboditi ugljična kiselina:



<sup>1)</sup> Od lat. *seculum*, vijek.

<sup>2)</sup> Od lat. *contactus*, dodir.

Promjene, koje se vrše među mineralima u čvrstoj stijeni djelovanjem visoke temperature, zovu se *termometamorfizma*, a sama pojava *termometamorfizom*; ona znade zahvatiti osobito sedimentne stijene, u kojima dolazi tada do prekristalizacije i do stvaranja novih minerala. Tako će se na pr. brusilovci<sup>1)</sup> ili glinci (njem. Tonschiefer), u kojima nema minerala sa CaO, pretvoriti izgubivši svoju vodu, u gusti rožnjak (njem. Hornfels), koji je sastavljen u glavnom od andaluzita  $Al_2SiO_5$  i kordijerita  $H_2Mg_4Al_8Si_{10}O_{37}$ . Magnezij, koji se nalazi u kordijeritu, potiče od klorita ili od tinjca (liskuna), kojih je bilo u brusilovcu. Ako se u brusilovcima nalazi i minerala sa CaO, razvit će se u rožnjaku mjesto andaluzita plagioklas, naročito anortit  $CaAl_2Si_2O_8$ . Gdje se u brusilovcima nalazi mnogo minerala sa CaO, ne će se razviti pri termometamorfizi ni andaluzit ni kordijerit nego plagioklas i hipersten, ili plagioklas i diopsid, ili skapolit i diopsid, pa će od brusilovca postati nova stijena, plagioklas-hiperstenski rožnjak, plagioklas-diopsidski rožnjak ili skapolit-diopsidski rožnjak.

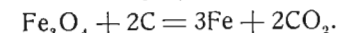
Pri prekristalizaciji brusilovaca u rožnjak djelovanjem termometamorfoze nestaje posve klorita i rutila; od sićušnih zrnaca kremenja i sićušnih listića muskovita razvijaju se krupna zrna kremenja i oveci listići muskovita; od klorita postaje biotit, u komu ima obično titana (od rutila). Još se znadu razviti u rožnjaku granat, staurolit, spinel, korund. Od ugljevitih tvari postaje grafit. Pri kontaktnoj metamorfizi dakle može klastična stijena da prijedje u kristalastu, a neki minerali, koji su postali trošenjem, preobražavaju se opet u minerale, iz kojih su postali. Klorit na pr. postaje kadikad trošenjem iz biotita, a biotit može postati pri kontaktnoj metamorfizi iz klorita. Kontaktna metamorfoza može dakle da vrati trošenje natrag u prvobitno stanje.

Pri efuziji, kada lava dodje u kontakt sa čvrstim kamenom, može se dogoditi, da uz metamorfozu dodje i do djelomičnoga taljenja pojedinih sastavaka kamena, koji se nakon ohladjenja ukrute u staklo. U kontaktu, na pr. bazaltne lave sa kvarcitom ili kojim pješčenjakom, prijeći će kremen pomenutih stijena djelovanjem visoke temperature u polimorfne modifikacije, u tridimit i kristobalit, ili će u vrućini ispucati, a kremen cement, koji je klastične komade kremenja držao u vezi, rastalit će se i dat će jednim dijelom materijal za razvitak tridimita, kristobalita, spinela, piroksena i silimanita, a drugim dijelom prijeći će u staklo. Pješčenjake, koji su termometamorfizom prešli djelomice u staklo, zovemo buhitima (buchit).

Pri termometamorfizi može doći i do redukcije sulfida. Tako će na pr. od piritnih konkrecija, koje se nalaze uložene u brusilovcima, postati konkrecije piroatina; djelovanjem naime visoke temperature disocirat će se

<sup>1)</sup> Brusilovci ili glinci sedimentne su stijene sastavljene pretežito od klastičnoga materijala i glinenih tvari; među klastičnim mineralima najrašireniji je kremen, muskovit, zatim rutil, turmalin. Ima u njima i klorita i ugljevitih tvari.

pirit  $FeS_2$  u sumpor S i željezni sulfid  $FeS$  (pirotin). Ako na pirotin djeluju uz visoku temperaturu vodene pare, doći će do razvitka magnetita  $Fe_3O_4$ . Sam magnetit može prijeći pri kontaktnoj metamorfizi u samorodno željezo. Do takve redukcije dolazi naročito onda, kada magma, koja prodirući iz dubina nosi već gotove kristale magnetita, provali kroz naslage fosilnoga uglja. Ugljik uglja oksidirat će se oduzimajući magnetitu njegov kisik, pa će se magnetit reducirati u željezo:



Na taj način držimo, da je postalo samorodno željezo, koje se nalazi u nekim bazaltima.

Gusti krečnjaci i dolomiti mogu vrlo lako da se pri termometamorfizi prekristalizuju, pri čemu će se od gusta i sitnozrnata kamena razviti krupnozrnasti kamen, vapneni ili dolomitni mramor. Ako su takvi krečnjaci i dolomiti imali u sebi ugljevite tvari i t. d., može se razviti u njima po koji novi mineral. Od ugljevitih tvari, postat će grafit; od kremenja, kalcita i dolomita može se razviti monticelit  $CaMgSiO_4$  i još neki drugi silikati i alumosilikati, pošto se oba karbonata  $CaCO_3$  i  $MgCO_3$  vrlo lako disociraju u  $CO_2 + CaO + MgO$ ;  $CaO$  i  $MgO$  jake su baze i stupaju u vezu sa kremičnom kiselinom ili alumokremičnom kiselinom stvarajući tako silikate i alumosilikate kao što su diopsid, augit, tremolit, kalcijski granat, epidot, coisit, gelenit, anortit i t. d. U kontaktu krečnjaka sa eruptivnim stijenama našao je *Wright* i jedan nov mineral, spurit  $CaCO_3 \cdot 2Ca_2SiO_4$ , gdje je kalcijski karbonat vezan u jedan spoj sa kalcijским silikatom.

Ugljična kiselina, koja se pri toj metamorfizi oslobadja, izlazi iz kamene kore ili je negdje na svom putu upije voda, koja onda izvire kao kiselica. Po neki izvori kiselica mogu da budu u vezi sa termometamorfizom karbonatskoga kamenja.

Pri termometamorfizi došlo je do razvitka novih minerala, a da u stijenu iz magme nije donešen nikakav nov mineralni materijal; sami minerali stijena dali su materijal za nove minerale. Ali može se pri kontaktnoj metamorfizi dogoditi i to, da magma donese neke mineralne tvari, koje udju u okolne stijene i tamo služe za razvitak novih minerala. To su naročito plinovi i pare, o kojima smo govorili pri postajanju pneumatogenih minerala (128), gdje smo istaknuli, kako njihovim djelovanjem može da se preobrazi mnoga stijena. Metamorfizu, koja je postala djelovanjem magme na susjednu stijenu, gdje se je dakle metamorfizirala stijena, pod uticajem magme, zovemo *eksogenom*<sup>1)</sup> kontaktnom metamorfizom.

Zadju li na pr. pri kontaktu magme sa krečnjakom neki plinovi kao što je klor, fluor, bor, fosfor, u krečnjak, doći će u njemu do metamorfoze, pri kojoj će se razviti aksinit, datolit, humit, hondrodit, flogopit,

<sup>1)</sup> Od grč. *eksós*, izvana i *génésis*, postanak.

skapolit, apatit, fluorit, spinel, periklas, brucit i grafit. Kadikad pri kontaktu magme sa krečnjacima zadju u krečnjake spojevi teških metala, željeza, mangana, cinka, bakra, olova, pa se razvijaju u domašaju kontakta bogata rudna ležišta t. zv. *kontaktna ležišta*, u kojima se nalaze ili oksidi željeza i mangana, ili sulfidi bakra, olova i cinka. Silikatne kontaktne stijene, koje se nalaze uz kontaktna ležišta, redovno su bogate željezom i sastavljene su u glavnom od kalcijско-željeznog granata, andradita i od kalcijско-željeznog piroksena, hedenbergita; zovu ih švedskim rudarskim imenom *skarn*.

Istaknuli smo takodjer, da i čvrsta stijena, s kojom je magma došla u doticaj, može da uzrokuje neke promjene u samoj magmi na taj način, da pojedini dijelovi čvrste stijene dospiju u magmu i budu u njoj asimilirani (127); na taj se način promijeni kemijski sastav magme te se iz nje razvijaju minerali, koji se ne bi razvili, da u magmu nije donešen nov mineralni materijal. Ovakovu vrstu metamorfoze, gdje susjedan kamen utiče na promjenu magme, a prema tome i na razvitak minerala u samoj magmi, zovemo *endogenom*<sup>1)</sup> metamorfozom. Tako se na pr. može iz magme razviti kalcit, ako je magma pri svojoj provali naišla negdje na naslage krečnjaka, koji su jednim dijelom u nju zašli donesavši materijal za razvitak kalcita; takvog eruptivnoga kalcita nalazimo u alkalijskim sijenitima, nefelinskim sijenitima, ijolitima i t. d.

Minerale, koji postaju pri kontaktnoj metamorfozi, zovemo *kontaktnim mineralima*. Oni se razvijaju ili u neposrednoj blizini kontakta ili u znatnoj udaljenosti od samoga kontakta, već prema jakosti djelovanja magme. Metamorfozu, koja se vrši u neposrednoj blizini kontakta uz sudjelovanje pneumatolitskih procesa, zove *A. Bergeat perimagmatskom*<sup>2)</sup> kontaktnom metamorfozom, a koja se vrši u većoj udaljenosti od kontakta ascenzijom hidrotermalnih otopina, *apomagmatskom*<sup>3)</sup> kontaktnom metamorfozom. Dakako da je metamorfoza sve slabija, što se više udaljuje od kontakta i nema sumnje, da će biti pri intruziji magme znatno većega opsega negoli pri njenoj efuziji. Pri intruziji gubi magma polako svoju visoku temperaturu, a uz to se nalazi pod golemim tlakom; to sve djeluje na susjedan kamen, u koga još mogu da zadju i plinoviti sastavci magme. Zbog toga može kontaktna metamorfoza pri intruziji magme da zahvati veliki prostor, na kom će se metamorfozirati znatne mase stijena. Drži se, da su na taj način (djelovanjem kontaktne metamorfoze) neki sedimenti prešli u *kristalaste škriljce*, koji uz eruptivne i taložne stijene, kao treća grupa stijena, izgrađuju koru Zemljinu. Kristalasti škriljci pretežito su silikatne stijene, koje se odlikuju škriljavom strukturom.

Način postajanja minerala kontaktnom metamorfozom, kao u opće i drugi načini postajanja minerala u prirodi, ovit je tajnama, kojima se na-

<sup>1)</sup> Od grč. *endós*, unutra. <sup>2)</sup> Od grč. *perí*, oko. <sup>3)</sup> Od grč. *apó*, od.

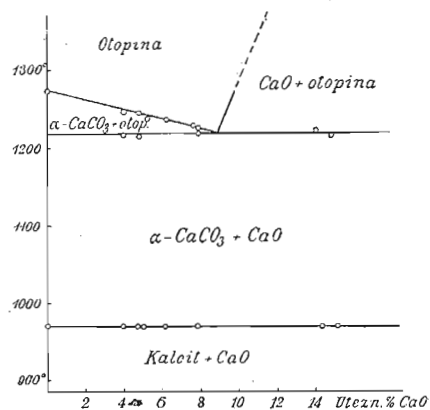
stojimo dovinuti. Pa kako smo pomoću sintetskih radova u laboratoriju saznali za neke fizičko-kemijske zakone, koji vladaju pri postajanju minerala iz magme i vodenih otopina, tako ispituje i mogućnost postajanja minerala pri kontaktnoj metamorfozi sintetskim putem. *Hatsch i Rastall* pokazali su na pr., da pri termometamorfozi dolomitne stijene lakše reagiraju i prelaze u silikate od krečnjaka. *I. W. Cobb* ispitivao je djelovanje visoke temperature i tlaka na smjesu kremenova praha i kalcijскоg karbonata, koji je dobio taloženjem. Uz temperaturu od 800° počinje međusobna reakcija jedne i druge komponente i nakon nekoliko sati grijanja uz pomenutu temperaturu nije se u smjesi nalazio više ugljični dioksid. Ako je u smjesi bilo više  $\text{CaCO}_3$ , negoli  $\text{SiO}_2$ , razvio se je ortosilikat  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ ; bude li u smjesi više  $\text{SiO}_2$ , negoli  $\text{CaCO}_3$ , razvit će se metasilikat  $\text{CaSiO}_3$ .

*E. S. Shepherd* obavljao je pokuse sa  $\text{CaCO}_3$  i  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$  u 10%-tnoj otopini natrijskoga klorida uz temperaturu od 350°—400°; pri tom je dobio dvoslo  $\text{CaCO}_3 \cdot 2\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ , koja odgovara posve kemijskom sastavu spurita; sintetski taj spoj ima i eksponente loma  $\alpha$  i  $\beta$  jednake spuritu, ali se od spurita razlikuje stupnjem simetrije: spurit se kristalizuje monoklinski ili triklinski, a sintetski spoj istoga kemijskoga sastava rompski.

Pokusi su pokazali, da se uvećavanje zrna kod gustih i sitnozrnastih kristalastih agregata vrši uz visoku temperaturu, ali se pri tom kristalasti agregat ne rastaljuje. Djelovanjem visoke temperature povećava se energija titranja u prostornoj mreži poredanih čestica, pa se na taj način pojedini susjedni mrežasti kompleksi lako orijentiraju u veće jednovite mrežaste komplekse, čega je posljedica uvećanje zrna. Tako se mogu djelovanjem visoke temperature pretvoriti gusti krečnjaci u krupnozrnaste, pa na vještački način možemo doći do marmoriziranja gustih krečnjaka. Pri tako visokoj temperaturi prelazi kalcit, kako je to pokazao pokusima *Boecke*, u novu modifikaciju, u  $\alpha\text{-CaCO}_3$  ili  $\alpha$ -kalcit, koji se, vjerojatno, kristalizuje u romboedrijskoj tetartoedriji (kao i dolomit). Kalcit je postojan samo do temperature od 970°; iznad 970° prelazi u  $\alpha\text{-CaCO}_3$ . Grijemo li  $\alpha\text{-CaCO}_3$  pod tlakom u atmosferi  $\text{CO}_2$  uz još višu temperaturu, talit će se kod 1290° uz tlak od najmanje 110 atmosfera, a ne će se disociirati; iz te će se taljevine opet kristalizovati (u skeletima) kao  $\alpha\text{-CaCO}_3$ . Bude li taljevina još jače grijana, disociirat će se  $\alpha\text{-CaCO}_3$  djelomično i vret će izlučujući  $\text{CaO}$ . Iz takve rastaljene smjese kalcijскоg karbonata i kalcijскоg oksida kristalizovat će se po jednostavnoj eutektičkoj šemi bez kristala mješanaca kalcijскоg karbonat i kalcijски oksid kao kemijski čista tvar. Eutektikum se nalazi kod 1218° u smjesi, koja je sastavljena od 91 uteznog postotka  $\text{CaCO}_3$  i 9 uteznih postotaka  $\text{CaO}$ . Iz dijagrama (sl. 801.) se razabira, da će se ispod temperature od 1218° i iznad temperature od 970° nalaziti čvrsta faza sa kristalima  $\alpha\text{-CaCO}_3$  i  $\text{CaO}$ , a ispod temperature od 970° čvrsta faza sa kristalima kalcita i  $\text{CaO}$ . U prirodi, gdje je došlo do razvitka termometamorfnoga krečnjaka, nalazi se



kadikad i kalcijski oksid i hidroksid. *Lacroix* je našao na pr. uklopke CaO u lavi Somme i Eifela, a isto je tako i *Scacchi* našao CaO u vezuvskoj lavi. Dakako da će CaO djelovanjem atmosferilija lako prijeći u karbonat.



Sl. 801.

### 143. Minerali se mogu preobraziti i djelovanjem velikoga tlaka.

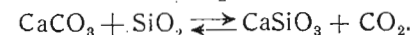
Fizičko-kemijske prilike, u kojima se nalaze minerali stijena, upravljaju njihovim opstankom. Čim se te prilike stanu mijenjati, poremećuje se ravnoteža u strukturi minerala; sitne čestice, koje su u prostornoj mreži zapremile određeni položaj, stupaju u neki drugi položaj, u kom će potražiti novu ravnotežu, da se pojave ponovice kao nov mineral. Tako su, primjerice, minerali nekih klastičnih stijena u ravnoteži, dok se nalaze u prilikama, koje su omogućile njihov razvitak. Klastične su stijene postale što kemijskim, što mehaničkim trošenjem minerala taložeći se u morima i jezerima (140), gdje ne vlada ni visoka temperatura, a ni prevelik tlak. Ako djelovanjem geodinamskih procesa, koji uzrokuju poremećaje u kamenoj kori, dospiju pomenute stijene u velike dubine Zemlje, dospjele su u nove prilike, u kojima njihovi mineralni sastavci traže novu ravnotežu, da se prilagode novome stanju. U velikim dubinama, znamo, vlada velik tlak (127), a da vlada i visoka temperatura, dokaz su vulkani, koji izbacuju rastaljenu utrobu Zemljinu, magmu (lavu). Ako uzmemo (po *Arrheniusu*), da temperatura raste za svakih 100 metara dubine za 2—4°, iznosila bi temperatura u dubini od

1 km .....	30°
3 km .....	oko 100°
10 km .....	oko 300°
20 km .....	oko 600°
40 km .....	oko 1200° i t. d.

Što je dakle dubina Zemlje veća, to je temperatura viša, a isto tako raste sa dubinom i jakost tlaka. Veliki tlak i visoka temperatura djeluju na već iskristalizovane, gotove minerale tako, da ih sile na prekrizaciju, pri kojoj će se razviti novi minerali. Povišenje tlaka i temperature uvjetuje otapanje, a sniženje tlaka i temperature kristalizaciju minerala. Ali na gibanje molekula djeluju ta dva činioca baš obratno: što je veća temperatura, veće je i gibanje molekula, pa uz vrlo visoku temperaturu može to gibanje biti toliko, da će mineral prijeći u tekućinu, pa čak i u plin (gas); što je veći tlak, manje je gibanje molekula, pa će uz velik tlak plinovita tvar prijeći u tekuću, iz tekuće u čvrstu.

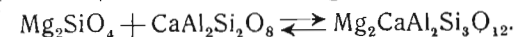
Pri nestajanju i postajanju minerala djelovanjem velikoga tlaka i visoke temperature pomaže u velike voda i to kao topilo; za nju znamo, da joj tlak i temperatura povećavaju moć otapanja (str. 518., 519.). A vode ima uvijek u stijenama, negdje više, negdje manje; gline na pr. imaju vode oko 10%, brusilovci (glinci) oko 4%, filiti oko 3%, eruptivne stijene 2—0,5%. Što je u stijeni više vode, lakše će se djelovanjem tlaka i temperature metamorfizirati, pa će u glinama doći lakše do prekrizacije negoli u brusilovcima, u brusilovcima lakše negoli u filitima, u filitima lakše negoli u eruptivnim stijenama.

Djeluje li na pr. veliki tlak na krečnjak CaCO<sub>3</sub>, u kome ima nešto kremena SiO<sub>2</sub>, poremetit će se u oba minerala dotadanja ravnoteža; u novim prilikama ne će moći postojati, nego će se iz njih razviti nov mineral, vlastonit CaSiO<sub>3</sub>, koji je našao ravnotežu u prilikama pod velikim tlakom; pri tom će se procesu osloboditi CO<sub>2</sub>:

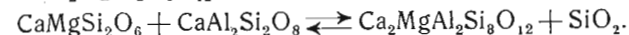


U dijelovima, gdje vlada mali tlak, dakle na površini Zemlje, razvit će se kalcijski karbonat i kremična kiselina (kremen), a u dijelovima, gdje vlada veliki tlak, dakle u dubinama Zemlje, razvija se kalcijski silikat; u gornjim dijelovima Zemlje, prema površini i na površini teče proces pri razvitku pomenutih minerala od desna na lijevo, a u dubinama od lijeva na desno.

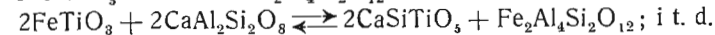
Od olivina Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> i anortita CaAl<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub> razvit će se djelovanjem velikoga tlaka granat Mg<sub>2</sub>CaAl<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>12</sub>; t. j. prema površini doći će do razvitka olivina i anortita, a u dubinama do granata:



Od augita CaMgSi<sub>2</sub>O<sub>6</sub> i anortita CaAl<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub> razvit će se pod velikim tlakom granat Ca<sub>2</sub>MgAl<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>12</sub> i kremen SiO<sub>2</sub>:



Od ilmenita FeTiO<sub>3</sub> i anortita CaAl<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub> razvit će se pod velikim tlakom titanit CaSiTiO<sub>3</sub> i amfibol Fe<sub>2</sub>Al<sub>4</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>12</sub>:



Ako pogledamo minerale, što su postali pod velikim tlakom (u dubinama Zemlje), vidjet ćemo, da su uvijek manjega molekularnoga volumena ili veće specifične težine od minerala, iz kojih su postali; *pod velikim tlakom razvijaju se redovito minerali sa manjim molekularnim volumenom ili sa većom specifičnom težinom*, kako je to dokazao i *Le Chatelier*, koji je postavio ovaj zakon tlaka: tlačimo li neki kemijski sistem uz konstantnu temperaturu, pomiče se ravnoteža na onu stranu, gdje se vrši reakcija uz smanjivanje volumena. Među mineralima je ta pojava, koju je prvi zapazio (1893.) *R. Lepsius*, vrlo raširena, a poznata je pod imenom *volumnoga zakona*. Tako na pr. ima:

kremen molekularni volumen . . . . .	22,64,
kalcit                   "                   "	36,76
	<hr/>
	59,40,

a volastonit, koji je postao uz velik tlak iz ta dva minerala, ima molekularni volumen 40,70. Molekularni je volumen:

olivina . . . . .	43,9
anortita . . . . .	101,1
	<hr/>
	145,0,

a granata, koji je postao uz veliki tlak iz ta dva minerala, 121. Molekularni je volumen:

augita . . . . .	68,0
anortita . . . . .	101,1
	<hr/>
	169,1;

iz ta dva minerala postao je uz veliki tlak granat i kremen, kojih je zajednički molekularni volumen manji od zajedničkoga molekularnoga volumena augita i anortita:

granat . . . . .	123,0
kremen . . . . .	22,8
	<hr/>
	145,8.

Molekularni je volumen:

2 ilmenita . . . . .	63,0
2 anortita . . . . .	202,2
	<hr/>
	265,2;

iz ta dva minerala postao je titanit i amfibol, kojih je zajednički molekularni volumen manji od zajedničkoga molekularnoga volumena ilmenita i anortita:

2 titanita sa molekularnim volumenom 111,2	
1 amfibol                   "                   "	140,5
	<hr/>
	251,7 i t. d.

Zbog volumnoga zakona nalazimo u kristalastim škriljcima, koji su postali djelovanjem velikoga tlaka metamorfozom iz eruptivnih ili sedimentnih stijena, titansku kiselinu  $TiO_2$  razvitu uvijek u formi rutila, a nikad

u formi anatasa ili brukita, jer je rutil od sve tri modifikacije najmanjega molekularnoga volumena; isto će se tako u kristalastim škriljcima anhidrid alumokremične kiseline  $Al_2SiO_5$  razviti uvijek kao disten ili silimanit, a nikad kao andaluzit, pošto su prve dvije modifikacije manjega molekularnoga volumena od andaluzita; kremična kiselina  $SiO_2$  razvila se je u kristalastim škriljcima uvijek kao kremen, a nikad kao tridimit i kristobalit, jer je kremen manjega molekularnoga volumena od ostale dvije modifikacije.

Djelovanjem dakle tlaka razvijaju se oni minerali, kod kojih se volumen umanjuje; gdje je tlak popustio, razvijaju se minerali, kod kojih se volumen uvećaje.

Pošto je tlak sve jači, što je veća dubina u kamenoj kori, to će u raznim dubinama vladati tlak različite jakosti. U velikim dubinama bit će minerali izvrnuti *svestranom* ili *hidrostatskom tlaku*, koji sa svih strana tlači jednakom snagom; prema površini prelazi hidrostatski ili svestrani tlak u jednostrani tlak, koji na jednoj strani tlači jače negoli na drugoj.

Hidrostatski tlak uzrokuje u mineralima molekularne promjene, koje se očituju u tom, da se molekule medju sobom što više zbliže, da zauzmu što zbijeniji položaj. Kako hidrostatski tlak sa svih strana jednako tlači, zadrže novi minerali obično formu starih minerala, pa se prema tome ušćuva i stara struktura kamena. Sitnija zrna minerala budu lakše i brže otopljena od krupnijih zrna, a otopljena tvar, kad nadodju povoljne prilike za kristalizaciju, bude privučena od krupnijih zrna, koja kristalizacijom rastu tako, da se na kraju razvije stijena sa mineralima, koji su krupnoga zrna. U velikim dakle dubinama Zemlje, gdje vlada hidrostatski tlak, razvijaju se obično krupnozrnaste stijene; na pr. od gusta krečnjaka razvit će se prekrizacijom u dubinama Zemlje krupnozrnasti krečnjak, mramor. Dakako da je preobražavanje minerala uz hidrostatski tlak vrlo polagano, jer je gibanje molekula usporeno.

Dok hidrostatski tlak djeluje sa svih strana jednakom snagom i ne dopušta da se molekule pomiču u nekom naročitom smjeru, nego ih sili, da se medju sobom zbiju što jače, pokoravajući se volumnome zakonu, dotle *jednostrani tlak* ili *stress*, kako ga zove američki geolog *van Hise*, djeluje svojom snagom samo u jednom smjeru i tlačeni dijelovi mogu da se ugnu tome tlaku na onu stranu, gdje tlak ne djeluje ili gdje je najslabiji. Pri tome može da dodje u stijeni ili medju mineralnim sastavcima stijene do mehaničkih, mineralnih i kemijskih promjena.

Do mehaničkih će promjena doći: ako pri jednostranom tlaku mogu tlačeni dijelovi da se lako ugnu na stranu, gdje nema tlaka, ako u mineralima, na koje djeluje jednostrani tlak ima tek malo vode, koja služi kao topilo i ako se tlačenje vrši uz nisku temperaturu. U takvim će prilikama doći do napetosti unutar granica elasticitete, što će izazvati u nekim mineralima t. zv. valovito (ili undulozno) pomračenje, kako se to može

posmatrati kod nekih individua kremenca, kalcita, glinenca, koji su bili izvrnuti jednostranom tlaku. Negdje će doći do razvitka tlačnih sraslaca, kako to vidimo kod kalcita i plagioklasa. Kod takvog mehaničkog poremećaja ostali su individui potpuno cijeli. Dakako da će u slučaju jakoga jednostranoga tlaka doći i do izvanje deformacije, individui će popucati, bit će zdrobljeni. Tu pojavu drobljenja minerala djelovanjem jednostranoga tlaka zovemo *kataklazom*.<sup>1)</sup>

Ako uz jednostrani tlak djeluje još voda kao topilo i visoka temperatura, doći će do mineralnih i kemijskih promjena, kojih će posljedica biti razvitak novoga minerala. No taj novi mineral ne će se razvijati po volumnom zakonu, nego po t. zv. *Riecke-ovom principu*. *Riecke-ova* su istraživanja naime pokazala, da se deformacijom, koju je uzrokovao tlak ili poteg, povećava topljivost nekome tijelu. Zato će se na mjestima velikoga tlaka minerali otapati, a na mjestima, gdje taj tlak ne djeluje, ponovice će se kristalizovati. Negdje će pri tim procesima doći samo do premještaja mineralne tvari; tako se znadu kalcit i kremen ukloniti sa mjesta velikoga tlaka, da se sakupe na mjestima, gdje je tlak najslabiji. Kadikad se pri tom razvijaju i novi minerali, koji su stvarno posve jednaki starom mineralu; metamorfoza se izvršila samo u molekularnom poredjaju tako, da su molekule zapremile nov položaj; došlo je tako do *premještaja molekula*. Tako će se na pr. iz augita razviti vlaknasti amfibol, t. zv. uralit, andaluzit prijeći će u pločasti disten. Osim ovih mineralnih promjena, gdje se je razvio nov mineral zadržavši stvarni sastav staroga minerala, može doći i do kemijskih promjena, pri kojima se vrše kemijske reakcije uz izmjenu tvari. Od ortoklasa i vode na pr. razvit će se muskovit i kremen, od granata i vode razvit će se amfibol i oligoklas, od plagioklasa, augita i vode razvit će se albit, epidot i kremen.

Pošto voda pogoduje prekrizalizaciji minerala djelovanjem jednostranoga tlaka, jasno je, da će one stijene, koje imaju dosta vode, lakše pretrpjeti kemijske promjene negoli stijene sa vrlo malo vode. Prema tome će gline i brusilovci (glinci) mnogo lakše podleći prekrizalizaciji negoli eruptivne stijene.

Tlak, bio on hidrostatski ili jednostrani, djeluje na velike udaljenosti, zahvaća čitave regije, pa će se pod njegovim djelovanjem metamorfozirati veliki kompleksi eruptivnih i sedimentnih stijena. One će prekrizalizacijom prijeći u novu stijenu, koja će se većinom odlikovati škrljavom strukturom. Te stijene, koje su postale metamorfozom iz eruptivnih i sedimentnih stijena, zovemo *kristalastim škrljcima* ili *metamornim stijenama*. Jedan dio kristalastih škrljaca, vidjeli smo, postao je pri kontaktnoj metamorfozi. Ali kontaktna metamorfoza može da zahvati tek manje komplekse.

<sup>1)</sup> Od grč. *kataklázein*, zdrobiti.

Metamorfoza pak, što se vrši djelovanjem tlaka, zahvata, kako smo rekli, čitave regije, pa je zovemo *regionalnom metamorfozom*. Kako je regionalna metamorfoza postala djelovanjem tlaka, to je ona *dinamometamorfoza*<sup>1)</sup>; ako je takva metamorfoza postala pri orogenetskim<sup>2)</sup> procesima, gdje je tlak izvršio velike dislokacije<sup>3)</sup>, zovemo je i *dislokacionom metamorfozom*.

Kako su pojedini minerali dinamometamorfozom prešli u nove minerale, tako će i pojedine eruptivne i sedimentne stijene prijeći u nove stijene, u kristalaste škrljce. Nova će stijena, jer se razvijala uz veliki tlak, imati uvijek manji molekularni volumen od stijene, iz koje je postala, t. j. razvijat će se po volumnom zakonu. Iz dijorita, eruptivne stijene, koja je sastavljena od:

andezina	$\left\{ \begin{array}{l} \text{NaAlSi}_3\text{O}_8 \\ \text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \end{array} \right\}$	.....100,30
		.....101,10
amfibola	$\left\{ \begin{array}{l} \text{CaMg}_3\text{Si}_4\text{O}_{12} \\ \text{CaFe}_3\text{Si}_4\text{O}_{12} \end{array} \right\}$	.....140,50
i hematita	$4\text{Fe}_2\text{O}_3$	.....121,12
		463,02,

razvit će se piroksenski gnajs, kristalasti škrljac, koji je sastavljen od:

albita	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$	.....100,3
augita	$\left\{ \begin{array}{l} 2\text{CaMgSi}_2\text{O}_6 \\ \text{CaFeSi}_2\text{O}_6 \\ \text{FeAl}_2\text{SiO}_6 \end{array} \right\}$	.....68,2
magnetita	$3\text{Fe}_3\text{O}_4$	.....139,2
i kremenca	$3\text{SiO}_2$	..... 68,4
		376,1

Iz kalcitnoga brusilovca, taložne stijene, koja je sastavljena od:

kaolina	$3\text{H}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \cdot \text{H}_2\text{O}$	.....323,7
i kalcita	$\text{CaCO}_3$	..... 36,8
		360,5,

razvit će se kalcijski tinjčev škrljac (mikašist), kristalasti škrljac, koji je sastavljen od:

margarita	$\text{H}_2\text{CaAl}_4\text{Si}_2\text{O}_{12}$	.....140,0
distena	$\text{Al}_2\text{SiO}_5$	..... 44,4
kremenca	$3\text{SiO}_2$	..... 68,4
i vode	$5\text{H}_2\text{O}$	.....(90,0)
		252,8
		(342,8)

S obzirom na djelovanje tlaka pri razvitku metamornih stijena (kristalastih škrljaca) ili njihovih mineralnih sastavaka razlikujemo u kamenoj kori tri zone: najgornju zonu ili epizonu,<sup>4)</sup> srednju zonu ili mezozonu<sup>5)</sup>, najdublju zonu ili kazonu.<sup>6)</sup> U svakoj od tih zona vladaju druge prilike, pa

<sup>1)</sup> Od grč. *dýnamis*, sila. <sup>2)</sup> Od grč. *óros*, gora. <sup>3)</sup> Od lat. *dislocare*, premjestiti.

<sup>4)</sup> Od grč. *epi* na. <sup>5)</sup> Od grč. *mésos*, srednji. <sup>6)</sup> Od grč. *katá* dolje.

će i uvjeti za postajanje minerala u njima biti različiti; svaka će zona imati svoje minerale. U epizoni doći će do epimetamorfoze, u mezozoni do mezometamorfoze, a u katazoni do katametamorfoze. Povrh epizone nalazi se dio kamene kore, gdje vlada običan atmosferski tlak i obična temperatura. U tom dijelu vrši se postajanje i nestajanje minerala uz pomoć atmosferilija, dakle trošenjem; taj površinski dio kamene kore mogli bismo nazvati *zonom trošenja*, gdje dolazi do oksidacije minerala i do tvorbe hidrata i karbonata.

1. *Epizona*. U najgornjoj zoni, koja se ne nalazi u velikim dubinama, vlada srazmjerno još niska temperatura, a zbog male debljine kamenoga sloja ne može se razviti hidrostatski nego jednostrani tlak. Kako se pri jednostranom tlaku mogu tlačeni dijelovi da ugnu na onu stranu, gdje je tlak najslabiji, doći će u epizoni do kataklaze ili mehaničkoga drobljenja minerala; razvit će se t. zv. *miloniti*<sup>1)</sup>, stijene sa zdrobljenim mineralnim sastavcima. U epizoni pretrpjet će mnogi minerali unutrašnje deformacije, koje će biti uzrok nekim optičkim anomalijama, na pr. unduloznom pomračenju; tu će doći do razvitka tlačnih sraslaca i translacija.

Uz mehaničke deformacije doći će u epizoni i do mineralnih i kemijskih promjena. Medju novim mineralima, koji se razvijaju prekrystalizacijom iz starih, bit će većina takovih, koji će imati u svom sastavu hidroksil OH; oni će se odlikovati manjim molekularnim volumenom i većom količinom vode. U epizoni naći ćemo sericit (sitno listićavi muskovit), klorit, milovku (talk), amfibol, coisit, epidot, albit, kalcit, kremen, hematit, magnetit. Ti minerali ulaze u stijene kao njihovi mineralni sastavci, pa ćemo u epizoni naći medju metamorfnim stijenama kremene, sericitne, kalcitne i albitne filite, sericitne kvarcite, milovkine i kloritne škriljce.

2. *Mezozona*. U djelovima ispod epizone, u mezozoni, nalaze se stijene pod vrlo debelim kamenim slojem; zato je u mezozoni tlak znatno jači negoli u epizoni. Ali to je još uvijek pretežito jednostrani tlak, koji samo u najdonjim dijelovima mezozone prelazi u hidrostatski tlak. Zbog velikoga pritiska kamenih slojeva nije ugibanje tlačanih dijelova na strane slabijega tlaka onako veliko kao u epizoni, pa su pojave kataklaze u mezozoni dosta rijetke; tu dolazi većinom do prekrystalizacije, koju podupire znatno i temperatura, jer je ona u mezozoni već dosta visoka. Pri prekrystalizaciji razvijaju se minerali po volumnome zakonu, t. j. minerali sa najvećom specifičnom težinom. Medju njima ima takovih, u čiji je sastav ušao hidroksil OH. Forma minerala, a i samo lice stijena, uvjetovano je *Riecke*-ovim principom. Zato medju mineralima prevladuju forme stupičaste, vlaknaste, lamelarne, listićave i ljuskave, a stijene su se razvile sa izrazitom škriljavom

<sup>1)</sup> Od grč. *mýle*, mlin.

strukturu. Medju mineralima, koji su postali mezometamorfozom, susrećemo mikroklin, mikropertit, albit, oligoklas, muskovit, biotit, coisit, epidot, amfibol, granat, staurolit, disten, titanit, magnetit, ilmenit, kremen. Ti su minerali ušli u sastav kristalastih škriljaca, pa su najtipikiji kristalasti škriljci postali baš u mezozoni; takvi su tinjčasti (liskunski) i amfibolni gnajsi sa staurolitom, distenom i granatom (na pr. kod nas u slavonskom gorju kod Kutjeva), tinjčasti škriljci (mikašisti), amfiboliti, glaukofaniti i glaukofanski škriljci, zeleni škriljci i t. d.

3. *Katazona*. U katazoni, koja je zapremila najdublje dijelove kamene kore, vlada ne samo silan tlak, nego i vrlo visoka temperatura. Tlak je dakako pretežito hidrostatski, pa će pri razvitku minerala rijetko gdje doći do izražaja *Riecke*-ov princip. Ali ni volumni zakon ne će u tolikoj mjeri upravljati razvitkom minerala, kako je to u mezozoni, pošto u katazoni vlada vrlo visoka temperatura, a ona djeluje obrnuto od visokoga tlaka; djelovanje je tlaka kontrakcionno, a temperature dilatacionno. U takim prilikama stari će se minerali prekrystalizovati u nove, koji će imati nešto oveci molekularni volumen, dakle nešto manju specifičnu težinu. Zbog vrlo visoke temperature razvit će se malo minerala, u kojima će se nalaziti hidroksil OH; jedini je takav medju katamorfnim mineralima biotit. U katazoni susrećemo obično one minerale, koji se nalaze u eruptivnim i kontaktnim stijenama, na pr. ortoklas, sve plagioklase, biotit, augit, olivin, granat, kordierit, silimanit, magnetit, ilmenit, kremen. Ti su minerali ušli u sastav metamorfnih stijena katazone, u biotitne, augitne i silimanitne gnajse, u eklogite i granulite. Kako hidrostatski tlak djeluje na sitnije mineralne komponente tako, da se one otope, a njihov otopljeni materijal služi pri kristalizaciji krupnijih komponenata, razvijaju se u katazoni stijene sa zrnastom strukturu. Zato na pr. neki gnajsi iz najvećih dubina imaju posve zrnastu strukturu te su posve slični granitima, na pr. gnajsi oko Prilepa i u planini Selečkoj u Južnoj Srbiji. U nekim slučajevima, gdje je vrlo visoka temperatura, može doći do razvitka stijena sa gustom strukturu, kakovom se odlikuju rožnjaci (Hornfels); takvi su na pr. neki silimanitni gnajsi.

Proučavajući mineralni sastav stijena našao je ruski petrograf *Loewinson-Lessing*, da se mineralni sastavci stijena dadu podijeliti u dvije grupe. U jednu grupu idu minerali, koji imaju manji molekularni volumen od zbroja molekularnih volumena oksida, koji sastavljaju spoj; takve minerale nazvao je *Loewinson-Lessing* negativnima; gdje je molekularni volumen spoja veći od zbroja molekularnih volumena oksida u spoju, mineral je pozitivan. Tako je na pr. molekularni volumen:

$\text{Al}_2\text{O}_3$ (izveden iz korunda) .....	25,2
$\text{SiO}_2$ (izveden iz kremen) .....	22,8
$\text{Al}_2\text{SiO}_5$ (izračunat iz volumena gornja dva oksida) $25,2 + 22,8 = 48,0$	

Od tri modifikacije  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$ , andaluzita, silimanita i distena, ima molekularni volumen s obzirom na specifičnu težinu:

andaluzit .....	51,8
silimanit .....	50,2
disten .....	44,4.

Disten je dakle vrlo negativan mineral, dok su andaluzit i silimanit pozitivni. Pošto kristalasti škriljci postaju djelovanjem velikoga tlaka, to će se od tri modifikacije  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$  nalaziti u pomenutim škriljcima najvjerojatnije disten, dok je pojava andaluzita među njima nevjerojatna. U katazoni, gdje je uz veliki tlak i vrlo visoka temperatura, razvit će se uz negativne minerale i mnogi pozitivni, t. j. oni, koje susrećemo i u eruptivnim stijinama.<sup>1)</sup>

**144. Kod preobražavanja mogu minerali zadržati prvotnu formu.** Djelovanjem atmosferilija, djelovanjem tlaka i temperature i t. d. minerali se, kako smo vidjeli, preobražavaju. Pri tom preobražavanju mogu zadržati formu onoga minerala, iz koga su postali, te se tako pojavljuju u formama, koje im ne pripadaju, u formama tuđim, lažnim. Takova preobražavanja (metamorfoze), gdje se je uočevala prvotna forma minerala, zovemo *pseudomorfozama*<sup>2)</sup>. Osobina bi pseudomorfoza bila u tom, da se mineralna tvar pojavljuje u kristalnim formama, koje nikako nisu u skladu sa geometrijskim, fizičkim i kemijskim svojstvima same tvari. Forma može biti na pr. teseralna, a mineralna se tvar odlikuje svojstvima kristala romboedrijske hemiedrije, kako je to kod hematita  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , koji je postao metamorfozom iz pirita  $\text{FeS}_2$ , a zadržao je potpuno formu pirita; za takav hematit velimo, da je to pseudomorfoza po piritu. Ima pseudomorfoza hematita i po kalcitu, sideritu, magnetitu.

Razvitak je pseudomorfoza različit. Uz izvjesne fizičko-kemijske prilike mineral se razvio i dok te prilike postoje, postoji i mineral; kako se prilike stanu mijenjati, mijenja se i mineral. Kadikad su te promjene posve *fizičke* tako, da promjenom prilika, u kojima je mineral bio postojan, dolazi do promjene u molekularnom poredjaju ili u strukturi, što dakako izaziva promjenu svih svojstava minerala. Pri takvoj molekularnoj promjeni,

<sup>1)</sup> R. Lang: Verwitterung. Fortschritte der Mineralogie, Kristallographie und Petrographie, Band VII., 1921. pag. 174. — H. Schneiderhöhn: Die Oxydations- und Zementationszone der sulfidischen Erzlagerstätten. Fortschritte der Mineralogie etc. Band IX., 1924. pag. 65. — R. Brauns: Chemische Mineralogie, pag. 390. — O. Stutzer: Die wichtigsten Lagerstätten der „Nicht-Erze“. Erster Teil. Berlin 1911. pag. 417. — U. Grubenmann: Die kristallinen Schiefer. Allgemeiner Teil. Berlin 1904. — U. Grubenmann und P. Niggli: Die Gesteinsmetamorphose. Allgemeiner Teil. Berlin 1924. — H. Rosenbusch: Elemente der Gesteinslehre. Vierte Auflage. Stuttgart, 1923. — H. E. Boeke und W. Eitel: Grundlagen der physikalisch-chemischen Petrographie. Berlin 1923. — H. E. Boeke: Die Schmelzerscheinungen und die umkehrbare Umwandlung des Calciumcarbonats. Neues Jahrbuch für Mineralogie etc. I., 1912. pag. 91. — F. Loewinson-Lessing: Studien über die Eruptivgesteine. St. Petersburg 1899. i Петрография. Ленинград 1925. — <sup>2)</sup> Od grč. *pseudós*. lažan i *morphé*, lik.

upravo molekularnom premještaju, postaje nov mineral, koji je zadržao prvotnu formu minerala, iz koga je postao, a uz prvotnu formu ostala je nepromijenjena i mineralna tvar. Pseudomorfoze, koje su postale molekularnim premještajem, zovemo *fizičkim pseudomorfozama* ili *paramorfozama*. Tako je na pr. aragonit  $\text{CaCO}_3$  postojan uz izvjesne fizičke prilike; kad se one promijene, dolazi do promjene u poredjaju aragonitovih molekula i u novim prilikama zauzmu one poredjaj, kakav je kod kalcitovih molekula, t. j. aragonit je prešao fizičkom metamorfozom u kalcit  $\text{CaCO}_3$ , došlo je do paramorfoze kalcita po aragonitu. U izvjesnim fizičkim prilikama može da postoji augit; ali čim se te prilike promijene, poremetila se dotadašnja ravnoteža među augitnim molekulama; one traže u novim prilikama novu ravnotežu, u kojoj će zapremiti i nov položaj, odlikujući se novim fizičkim svojstvima. Pri tom molekularnom premještaju prešao je augit u amfibol, u t. zv. uralit; došlo je dakle do paramorfoze uralita po augitu.

Paramorfoze su moguće samo kod polimorfnih modifikacija minerala. Zato ćemo naći kadikad paramorfozu na pr. rutila po brukitu i anatasu, grafita po dijamantu (sitni oktaedri kliftonita, što se nalaze u nekim meteoritima, po nekima su paramorfoza grafita po dijamantu), silimanita po andaluzitu, rompskoga sumpora po monoklinskom sumporu i t. d.

Mnogo su češće od paramorfoza *kemijske pseudomorfoze*. Kod njihova razvitka može se dogoditi, da se promjena vrši tako, da mineral primi u svoj sastav neku novu tvar. Prema tome će taj proces biti vezan za povećanje obima minerala, koji postaje metamorfozom, te će se zbog toga vrlo često raspasti forma prvotnoga minerala. Tako može doći do razvitka pseudomorfoze argentita  $\text{Ag}_2\text{S}$  po srebru Ag, gdje je pri metamorfozi ušao u sastav sa srebrom sumpor. Pseudomorfoza hematita  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  po magnetitu  $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$  postala je tako, da se je ferooksid FeO oksidirao u ferioksid  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , a dakako da se je pri tom i obim uvećao; pri metamorfozi gipsa  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  po anhidritu  $\text{CaSO}_4$  ušla je u sastav novoga minerala voda. Kod metamorfoze malahita  $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$  po kupritu  $\text{Cu}_2\text{O}$  primio je novi mineral kisika O, ugljične kiseline  $\text{CO}_2$  i vode  $\text{H}_2\text{O}$ .

Obrnuti je slučaj, gdje se kemijska pseudomorfoza vrši na taj način, da mineral pri metamorfozi gubi neke od svojih sastavaka. Tako se može na pr. razviti pseudomorfoza bakra Cu po kupritu  $\text{Cu}_2\text{O}$  gubitkom kisika O. Pirargirit  $\text{Ag}_3\text{SbS}_3$  i prustit  $\text{Ag}_3\text{AsS}_3$  mogu gubitkom antimona Sb ili arsena As prijeći u argentit  $\text{Ag}_2\text{S}$ , pa se tako razvije pseudomorfoza argentita po pirargiritu ili prustitu; ako oba pomenuta minerala izgube još i sumpor, dolazi do razvitka srebra po pirargiritu ili prustitu.

Ipak su najčešće pseudomorfoze, koje postaju kemijskom izmjenom pojedinih sastavaka; one se vrše obično pri trošenju minerala. Među takve pseudomorfoze ide na pr. pseudomorfoza getita  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  po piritu  $\text{FeS}_2$ , gdje je sumpor zamijenjen kisikom i vodom; ili pseudomorfoza cerusita po

galenitu, gdje je sumpor zamijenjen kisikom i ugljičnom kiselinom. Pseudomorfoza serpentina  $H_4Mg_3Si_2O_9$ , po olivinu  $(MgFe)_2SiO_4$  postala je gubitkom FeO i primitkom  $H_2O$ .

Kemijske pseudomorfoze, koje su postale ili primitkom ili gubitkom ili izmjenom nekih svojih sastavaka, zovu se *pretvorine*.

Negdje može doći do razvitka pseudomorfoza tako, da tvar prvotnoga minerala bude istisnuta, a na njezino mjesto dodje druga mineralna tvar, koja od prve zadrži samo formu; takve pseudomorfoze mogli bismo nazvati *istiscima*. Dakako da su i te pseudomorfoze posljedica kemijskoga preobražavanja minerala. Medju pseudomorfoze, koje smo nazvali istiscima, ubrajamo na pr. kalcedon, koji se javlja u formi fluorita; tu je silicijski dioksid  $SiO_2$  istisnuo kalcijški fluorid  $CaF_2$ , pa je došlo do pseudomorfoze kalcedona po fluoritu. Steatit  $H_2Mg_3Si_4O_{12}$  može da istisne kremen  $SiO_2$ , pa će se razviti vrlo lijepe pseudomorfoze steatita po kremenu; poznate su i pseudomorfoze steatita po dolomitu  $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ . Gdjegdje kemijskim djelovanjem može da kasiterit  $SnO_2$  istisne ortoklasovu tvar  $KAlSi_3O_8$ , pa se razvije pseudomorfoza kasiterita po ortoklasu. Kadikad se nadje pseudomorfoza bakra po kalcitu ili po aragonitu, kremena po kalcitu i t. d.

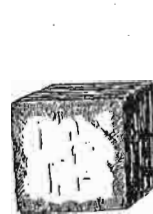
Neké pseudomorfoze mogu postati tako, da izvjesna mineralna tvar kao kora prekrije kristale koje tudje mineralne tvari; takve pseudomorfoze zovemo *okorinama*. Dogodi se da kod okorina bude mineralna tvar ispod kore otopljena i isprana; u okorini ostané šuplji prostor, koji se naknadno ispuní nekom mineralnom tvari, i razvije se pseudomorfoza, koju zovemo *ispunkom*. Tako znadu biti kristali fluorita prevučeni korom sitnih kristalića kremenovih, kristali barita korom sitnih kristala pirita. Negdje se nadje i pravih mehaničkih ispunaka. Kad se na pr. u glini otope kristali kamene soli, ostanu šupljine forme kristala kamene soli. U te šupljine udje glina, pa se tako pojavljuje u formama kamene soli.

Forme minerala, koji su se razvili u pseudomorfozama, ne možemo zvati kristalima, jer nisu bitne za onu mineralnu tvar, koja se u njima pojavljuje (7). Limonit na pr., kad se pojavljuje u pseudomorfozi po piritu ili sideritu, ima forme, koje nisu njemu bitne; limonit se naime nikad ne pojavljuje u jasnim kristalima, nego je njegova tvar vazda kristalasta sa svojstvima rompskoga sustava. Osim toga osobina je kristala, da je on jedan individuum, koji je potpuno homogen, a forme pseudomorfoza niti su jedan individuum, niti su homogene; one su redovito agregati većinom kristalaste tvari; kadikad su amorfne. Kristalasti agregati, koji sastavljaju forme pseudomorfoza, redovito su gusti ili sitnozrni, ili lisnati i vlasasti. Kadikad vlasasti agregati znadu biti poredani tako, da zauzmu pravilan položaj spram prvotnoga kristala te podsjećaju na paralelno sraštenje kristala različite mineralne tvari. Taj pravilan položaj mineralnog agregata uzrokuje, da se pseudomorfoze ponašaju, s obzirom na optička svojstva, kao pravi kristali (na

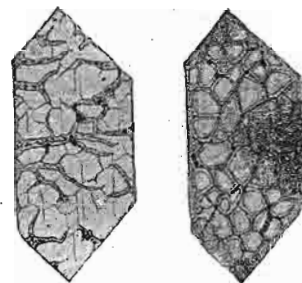
pr. uralit, vlasasta pseudomorfoza amfibola po augitu ili bastit, lisnata pseudomorfoza serpentina po broncitu). Pseudomorfoze sastavljene od agregata, koji su zapremili pravilan položaj spram prvotnoga kristala, zovemo *homaksnim pseudomorfozama*.

Razvitak pseudomorfoza vrši se ili sa površine prema nutarnosti kristala ili započinje u nutrini kristala pa napreduje prema periferiji. Kod pirita možemo posmatrati tok metamorfoze, kako napreduje sa površine prema nutrini kristala. Najprije se stane gubiti jaka metalna sjajnost; za njom nestaje po malo zlatnožute boje. Kristal pirita prevukao se tanušnom prevlakom željeznoga hidrata. Kako metamorfoza napreduje, raste debljina prevlake željeznoga hidrata sve više. Često u ovako metamorfoziranim kristalima pirita vidimo još jezgru posve uščuvanu, dok je u krajevima prema periferiji već sve prešlo u limonit (sl. 802.).

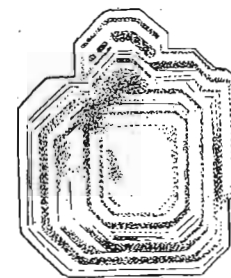
Tok razvitka pseudomorfoza osobito se lijepo da pratiti kod mikroskopskoga proučavanja stijena. Tu čovjek ima prilike posmatrati razvitak preobražavanja minerala u raznim stepenima. Olivin na pr., kad ga zahvati trošenje, počinje se preobražavati na površini u serpentin (sl. 803.). Kako pri tom preobražavanju prima vodu, uvećava mu se obim, pa se sav raspuca. Jedan dio njegov preobražava se u magnetit  $FeO \cdot Fe_2O_3$ , koji se kao sitno zrnje okuplja po pukotinicama uz serpentinsku tvar. Preobražavanje teče tu od površine prema unutarosti. Kod nekih plagioklasa počinje preobražavanje iz nutarnosti, pa se širi prema površini. Kako su plagioklasi izomorfne smjese natrijskoga i kalcijškoga alumosilikata, to su i produkti njihova trošenja različiti, pa se kod trošenja plagioklasa lijepo vidi, kako se izmjenjuju lupine, koje se prepoznaju po različitim produktima trošenja (sl. 804.). Plagioklasi na pr. naših porfirita iz gore Ivanščice u Sjevero-



Sl. 802.



Sl. 803.



Sl. 804.

zapadnoj Hrvatskoj, kad ih zahvati trošenje, pokazuju lupine, od kojih su neke sastavljene od kalcita, neke od skapolita. Više puta su neki plagioklasovi

individui posve svježi, neki su tek na rubu počeli da se metamorfoziraju, a neki u središtu.<sup>1)</sup>

**145. Neki minerali daju materijal za razvitak okamina.** Životinje i biljke nakon svoje smrti djelovanjem nekih bakterija trunu (str. 533., 537.). Procesi truljenja često puta budu uzrok razvitka po kojega minerala. Kod truljenja na pr. školjkaša ili puževa razvija se iz njihove organske tvari ugljični dioksid  $\text{CO}_2$ . Ako u vodi, gdje se taj proces vrši, ima otopljene koje kalcijске soli, na pr. kalcijškoga hidroksida  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , prijeći će taj hidroksid djelovanjem ugljikova dioksida u kalcijски karbonat  $\text{CaCO}_3$ , u mineral kalcit. Organska će tvar sva istrnuti, a školjku ili kućicu ispunit će kalcit. Tokom vremena otopi se kućica ili školjka, a ostane jezgra od kalcita, koja ima formu školjke ili kućice; dakle u neku ruku to je pseudomorfoza. Na taj način mogu postati razne *okamine*.

U nekim slučajevima prima mineral formu biljke. Ima na pr. opala ili kremen  $\text{SiO}_2$ , koji su se razvili u formi drveta. Drvo je djelovanjem nekih kemijskih procesa, izgubivši svoju organsku tvar, prešlo potpuno u opal ili u kremen, ono se, velimo, okamenilo. Pri toj metamorfozi drveta u opal sačuvalo je ono potpuno formu svoje unutrašnje gradje, pa kad od takvoga opala priredimo izbrusak, te ga posmatramo pod mikroskopom, pokazuje on sliku posve svježih drveta, ma da od organske tvari drveta nema više ni traga.

Okamine sastavljene su većinom od kalcita, aragonita, kremenā, a tu i tamo i od gipsa, barita, celestina i t. d. Po kadšto se nadje okamina, koje su sastavljene od pirita, limonita, hematita, siderita i smitsonita.

Sve, što smo do sada saznali o postajanju i nestajanju minerala, o njihovu preobražavanju, sve to obuhvata *historiju minerala* ili historiju spojeva atoma, t. j. historiju molekula i kristala. Tom historijom bavi se mineralogija za razliku od *geokemije*, koja izučava *historiju kemijskih elemenata*, t. j. atoma Zemljine kore i, koliko je to moguće, čitave kugle Zemljine. U stvari je geokemija usko povezana sa mineralogijom, pa smo i mi, govoreći o postajanju minerala, govorili zapravo o historiji kemijskih elemenata, bavili smo se dakle geokemijom. Danas se geokemija razvila u zasebnu mineraloško-kemijsku nauku, u kojoj osobito mnogo rađe ruski mineralozi, naročito *V. I. Vernadskij*, koji je u svom djelu: *Очерки Геохимии*.<sup>2)</sup> Ленинград 1927. iznio historijski pregled rada u geokemiji i prikazao sjajnim načinom raspored atoma u vremenu i prostoru, njihovu migraciju, njihov kružni tok i uticaj žive tvari na postajanje minerala i na migraciju atoma.

<sup>1)</sup> *I. R. Blum*: Die Pseudomorphosen des Mineralreiches. Stuttgart. — Od istoga autora: Nachtrag zu den Pseudomorphosen des Mineralreiches. Stuttgart 1847., 1852. 1863., 1879.

<sup>2)</sup> U tom je djelu sabrao *V. I. Vernadskij* golemu literaturu, koja se odnosi na geokemijska pitanja. Vidi još od istoga autora: Опыт описательной минералогии. Т. I. С.-Петербург 1914. — Т. II, 1. 2. Петроград 1922. (nastavlja se). — История минералов земной коры. Т. I., 1. 2. Ленинград 1926. (nastavlja se).

## V. POJAVLJIVANJE I RASPROSTRANJENJE MINERALA U KORI ZEMLJINOJ.

**146. Mjesto, gdje se mineral nalazi u kori Zemljinoj, jest mineralno ležište.** Fizičko-kemijske prilike, uz koje su se minerali razvijali, odlučuju i o načinu njihova pojavljivanja u kori Zemljinoj. Pojavljivanje njihovo nije dakle slučajno, nego je vezano za način njihova razvitka. U kori Zemljinoj zauzeli su svoje mjesto, neki prostor, koji zovemo *ležištem*; u tom ležištu može se nalaziti jedan jedini mineral, na pr. samo kremen (kvarc) ili samo gips ili samo kamena so; ili su se u tom ležištu okupili različiti minerali, na pr. kremen, galenit, siderit, sfalerit, halkopirit i t. d.

Proučavajući prilike mineralnoga ležišta ili paragenezu minerala (125), saznajemo njihovo porijeklo, način njihova postanka. Iz paragenetskih odnosa minerala nekoga ležišta možemo saznati, da li su oni u njem od iskona, da li su se baš u njemu razvili, dakle da li su minerali u ležištu *primarni*<sup>1)</sup> ili su u to ležište tek donijeti kao produkti trošenja stijena, dakle *sekundarni*<sup>2)</sup>; prema tome je i neko *mineralno ležište primarno ili sekundarno*.

Primarni minerali ležišta nisu u njem slučajni; medju njima vladaju izvjesni genetski, kemijski i fizički odnosi tako, da su ti minerali jedni za druge vezani stvarajući stalne mineralne kombinacije. U granitskom ležištu nalazimo na pr. uvijek stalnu mineralnu kombinaciju: glinenac (feldšpat) kremen (kvarc) i tinjac (liskun); u peridotitima je mineralna kombinacija olivin, piroksen, amfibol i biotit i t. d. To udruživanje minerala u stalne mineralne kombinacije očituje se i u tom, što u nekim slučajevima jedan mineral isključuje drugi; tamo, gdje se je razvio na pr. nefelin, nema nikada kremenā, gdje se razvio sodalit, nema nikada muskovita, gdje se razvio anortit, nema nikada egirina. Ali ima i obrnutih slučajeva, gdje neki minerali dolaze uvijek zajedno; tamo gdje se je razvio disten, razvio se je i staurolit, gdje se razvio nefelin, razvio se je i sodalit i t. d. Prema tome možemo iz nazočnosti nekoga minerala zaključiti na nazočnost ili nenazočnost drugoga minerala. U nekim opet slučajevima možemo po nazočnosti nekoga minerala prepoznati na pr. halkopirit od pirita,

<sup>1)</sup> Od lat. *primus*. prvi. <sup>2)</sup> Od lat. *secundus*, drugi.

koji su više puta vanjštinom svojom potpuno jednaki, po zelenoj boji malahita i modroj boji azurita, što su postali trošenjem halkopirita. Kad bi to bio pirit, njegovi produkti trošenja bili bi sastavljeni samo od limonitne tvari; imali bi dakle boju tamnosmedju. Jednako ćemo po produktima trošenja, po malahitu i azuritu, prepoznati bakarni sinjavac i bakarni sjajnik od ostalih sulfidnih ruda, koje su im svojom vanjštinom posve jednake.

Primarni minerali nekoga ležišta mogu biti svi iste starosti; svi su se razvijali u isto doba, svi sačinjavaju jednu generaciju. Minerale jedne generacije nalazimo po žilama (žicama) stijena, gdje se je razvio u isto doba na pr. kremen, galenit, sfalerit i pirit, ili halkopirit, pirit i siderit; negdje se u takvim žilama da slijediti tok razvitka pojedinih minerala, koji se pojavljuju u više generacija, koji su se dakle razvijali u razno doba. Takav je slijed razvitka poznat kod kristalizacije minerala iz magme (str. 498.), pa kod kristalizacije minerala iz vodene otopine (str. 541).

Dok su primarni minerali nekoga ležišta medju sobom u genetskoj vezi, te stvaraju mineralne kombinacije, koje su posljedica izvjesnih fizičko-kemijskih sila, nemaju sekundarni minerali medju sobom nikakve genetske veze; oni su dospjeli u ležište slučajno, pa stvaraju mješavinu najrazličitijih minerala, kojima je geneza vrlo različita.

**147. Neki se minerali okupljaju u ležištu po pukotinama i šupljinama stijena.** Kamena kora naše Zemlje puna je najrazličitijih pukotina i šupljina, koje su mnogo puta posljedica stalnoga ohladjivanja Zemljine unutrašnjosti. Kako se ohladjuje jezgra Zemljina, umanjuje joj se obim a kamena kora, što ovija jezgru, vrši zbog svoje težine silan pritisak prema jezgri; posljedica je toga, da se u kori Zemljinoj razvija golem tlak sa bokova (bočni tlak), komu na nekim mjestima ne mogu odoljeti kameni dijelovi Zemljina plašta; oni popucaju pa se pomaknu iz svoga dotadanjega položaja; dolazi do razvitka pukotina. Ali do razvitka pukotina i šupljina u kamenoj kori može doći i pri samom razvitku stijena, na pr. pri skrućivanju magme, pri taloženju stijena i t. d. Sve te pukotine i šupljine u kamenoj kori djelomice su putovi provodnici mineralnih tvari, djelomice mjesta, gdje će se minerali nastaniti, gdje će se razviti mineralno ležište.

U pukotine i šupljine stijena dolaze mineralne otopine ili iz dubina Zemljinih ascenzijom, ili sa površine Zemljine, descenzijom (str. 533.), a u nekim slučajevima potiče mineralna tvar iz susjedne stijene, u kojoj se pukotina ili šupljina nalazi; ondje ju je voda otopila i u pukotinu nanijela. Otopine, koje potiču iz susjedne stijene, velimo, da su postale t. zv. *lateralnom sekrecijom*. Iz svih tih otopina kristalizuju se minerali po pukotinama stijena, pa takve pukotine, što su ispunjene mineralima (ili rudama) zovemo *mineralnim (ili rudnim) žilama (žicama)*. Po rudnim žilama nalazimo često minerale razvite u lijepim kristalima. Ako pukotina nije posvema ispunjena mineralima, imali su minerali dovoljno prostora za svoj

razvitak, pa su izrasli u priraslim kristalima (8), koji strše u slobodan prostor pukotine stvarajući kristalnu zadrugu ili družu (13). Kristalne zadruge ne nalazimo samo po pukotinama stijena, dakle u mineralnim žilama, nego i po šupljinama stijena, što su postale u eruptivnim stijenama djelovanjem plinova; ovakve kristalne zadruge stvaraju kao neka gnijezda u stijeni. Mineralne žile i kristalne zadruge jesu mineralna ležišta, koja su postala ispunjavanjem pukotina i šupljina.

Negdje mineralna tvar udje u stijenu kroz njezine sićušne pukotince i šupljince tako, da je stijena sva uprskana, impregnirana mineralima; minerali se nisu dakle okupili na jednom mjestu u kamenu, nego su ga impregnirali sad gušće, sad rjedje. Mjestimice znaju biti veliki komadi stijena impregnirani mineralima zapremajući znatan prostor, koji zovemo *impregnacionim ležištem*. Kao uprskane (impregnirane) minerale u stijenama susrećemo vrlo često sulfidne rude, naročito sulfide željeza (pirit), bakra, halkopirit i sinjavac), pa sulfide kobalta, nikla, žive i t. d.; zlato se takodjer pojavljuje kao uprskano u stijenama, osobito u kremenu.

Do okupljanja mineralnih tvari na jednom mjestu može doći i tamo, gdje one još nisu prešle u čvrstu stijenu, na pr. u magmi, u mulju, pijesku i t. d. U takvoj giblivoj tvari okuplja se na pojedinim mjestima po koja mineralna tvar, te se izlučuje kao *konkreција*<sup>1</sup>) u gomoljastoj, bubrežastoj, kuglastoj formi, a negdje i u debljim i tanjim vrstama. Na taj su način nastale konkrecije kalcita, kremena, limonita i t. d. U našim boksitima kod Posušja u Hercegovini ima lijepih konkrecija limonita, koje su se razvile u granatim formama; u boksitima kod Domanovića u Hercegovini ima manganske rude, psilomelana u debelim vrstama; takva ležišta konkrecija zovemo *konkrecionim ležištima*.

Ima u kamenoj kori i takvih ležišta, koja su postala kemijskom izmjenom mineralne tvari. Kako voda raznosi po šupljinama stijena otopljene mineralne tvari, dovodi ih u dodir sa mineralima stijena. Izmedju otopljene mineralne tvari i čvrsta minerala dolazi do kemijskih reakcija, pri kojima se čvrsti mineral otapa, a otopljeni izlučuje. Takav se proces razvija kod t. zv. metasomatoze (str. 556.), gdje se čitavi dijelovi, na pr. vapnenjaka, preobražavaju u siderit, smitsonit, dolomit i t. d.; na taj način postaju t. zv. *metasomatska ležišta*.

**148. Minerali su različito rasprostranjeni u kori zemljinoj.** Rasprostranjenost minerala u kori Zemljinoj zavisi o načinu njihova postanka. A kako je taj postanak vrlo različit, tako je različita i rasprostranjenost minerala; oni su vrlo nejednolično rasprostranjeni u kamenoj kori. Neki se pojavljuju gotovo svugdje u kamenoj kori, ali u malim količinama, na pr. cirkon, apatit, rutil; neki su takodjer jako rašireni, a znadu se kadšto mjestimice nagomilati u tako velikim masama, da stvaraju čitava brda, či-

<sup>1</sup> Od lat. *concretio*, gomilanje.



tave planine, na pr. krečnjak, dolomit, serpentini, kvarciti i t. d. Neki su vrlo rijetki, te ih nalazimo samo na nekim mjestima u kamenoj kori i to u maloj količini, na pr. kuprit, koji nije jako rasprostranjena bakarna ruda, ali se pojavljuje u Sjevernoj Americi kod Stirling-Hill-a i Mine Hill-a u New-Jersey-u u velikoj količini; enargit je tako rijedak, da dolazi u većoj količini kod nas u Istočnoj Srbiji kod Bora i u zapadnim stranama Ujedinjenih Država Sjeverne Amerike.

Kako je dakle rasprostranjenost minerala u kamenoj kori zavisna o načinu njihova postajanja, to ćemo već po petrografskom karakteru nekoga kraja moći stvoriti sliku o vrsti i rasprostranjenosti minerala. Poznajući stijene, njihovu prirodu, njihov postanak, upoznajemo i same minerale. U krajevima na pr., gdje se je razvilo karbonatsko stijenje, krečnjaci i dolomiti, rijetko se pojavljuju silikatni minerali i kremen; u tim stijenama ne ćemo naći rudnih žila; one su uopće siromašne rudama. Ali ćemo zato u takvim krajevima sigurno naći moćna ležišta boksita, pa tu i tamo po koju željeznu i mangansku rudu (limonit, hematit, psilomelan). U krajevima, gdje je došlo do velikih vulkanskih erupcija, gdje se je dakle razvilo eruptivno stijenje, kao što je to na pr. u Istočnoj, Zapadnoj i Južnoj Srbiji, nalazimo uz pretežitu količinu silikatnih minerala i rudne žile (žice), po kojima su se okupile razne sulfidne rude, najviše galenit, sfalerit, pirit i halkopirit, a negdje i oksidne rude, najviše hematit, magnetit i kromit, koje čovjek upotrebljava u svoju korist. Takve žile mogu dakako da se nalaze i u karbonatskom stijenju, ako je kroz to stijenje ili gdje u njegovoj blizini probila magma, ili ako se u blizini tih stijena nalazi duboka pukotina, kroz koju je mogao da dodje mineralni materijal iz Zemljinih dubina. O kemijskom sastavu magme zavisit će i vrsta i količina minerala. U kiselom eruptivnom stijenju, na pr. u granitima, nalazimo negdje žile, koje su ispunjene kositernom rudom, kasiteritom. I svagdje u kamenoj kori, gdje se pojavljuje kasiterit, pojavljuje se samo u granitima ili u stijenama, kroz koje je provalila granitna magma; a i minerali, koji prate kasiterit, s kojima se on nalazi u društvu, svagdje su uvijek isti; tako ćemo po žilama kositerne rude naći redovito neke volframate, bakarne sulfide, bizmutske, uranske, arsenske rude, pirit, željezni sjajnik, molibdenski sjajnik, kremen, minerale, koji imaju fluora, bora, fosfora, na pr. fluorit, turmalin, topaz, beril, apatit i t. d. (128). U žilama, što se nalaze u bazičnom eruptivnom stijenju, nema nikada kositerne rude, nema nikada fluorita i topaza, ali zato se u tim žilama pojavljuju jako često i negdje u velikim količinama apatit, titanit i željezni sjajnik (128). U peridotitima i gabrima domovina je kromitima i nikalnim rudama, i gdje su se god peridotiti razvili u velikim količinama, možemo biti sigurni, da ćemo u njima naći veća ili manja ležišta kromita.

## VI. EKONOMSKA MINERALOGIJA.

**149. Mineral je preko potrebit za kulturni razvitak čovjeka.** Mineralne tvari, za koje smo čuli, da potiču iz unutrašnjosti Zemljine, izgradile su uz neke fizičko-kemijske procese minerale. Te iste tvari, i opet uz neke fizičko-kemijske procese, izgradile su biljku i životinju. Iz minerala prima biljka mineralne tvari, njima se hrani, njima izgrađuje organe svoje, a iste te tvari za istu svrhu treba i životinja. Sva tri člana prirode, mineral, biljka, životinja, sastavljena su od iste tvari, koja se očituje u raznim formama, sa raznim osobinama; bez minerala nema opstanka biljci, bez biljke životinji; to su karike istoga lanca.

Kako je mineral izvor i osnova svemu živome, tako je on izvor i osnova svega kulturnoga razvitka čovjekova, izvor i osnova njegova napretka, njegova blagostanja. Bez željeza, bakra, olova i nekih drugih metala, bez uglja i t. d. ne možemo u opće zamisliti život čovjeka. A zanimljivo je, da je mineral bio oduvijek najvjerniji pomagač čovjeku u njegovim podvizima; on ga je digao do one visine, na kojoj se danas nalazi, on će mu i dalje pomagati. Prvo orudje, prva umjetnina, koju je čovjek napravio, bila je napravljena od minerala, od kamena. Mineral je dao posebno obilježje pojedinim epohama čovjekova razvitka, koje su nazvate imenima: kameno doba, bronzano doba, željezno doba.

Golem razvitak industrije omogućuju minerali, pa narodi, kojih su krajevi bogati mineralima, ako su znali te minerale upotrijebiti, visoke su kulture, velika bogatstva. Medju takve krajeve spada i naša ujedinjena Otadžbina Jugoslavija. Prilike, u kojima smo prije našega ujedinenja živjeli, nisu nikako dopuštale da upotrijebimo to rudno blago sebi u korist; ono je ležalo većinom netaknuto vijekovima u kamenoj kori. Ali sada, kad nam se nakon ujedinenja pokazuje velika, lijepa budućnost, valja da potražimo to sakriveno blago, da nam i ono pomogne u našem napredovanju.

Dakako nije svrha ove knjige da iznesemo, koje su to koristi, koje čovjek ima od minerala i na koji način utiču na ekonomsku snagu nekoga naroda. To obraduju posebne knjige. Mi smo ovdje tek uz put istaknuli važnost minerala, pa ćemo još u Specijalnoj Mineralogiji tu i tamo kod nekih minerala istaknuti, za što ih čovjek treba.



Znatno većega opsega bili su rudarski radovi u srednjem vijeku za banovanja i kraljevanja naših domaćih vladalaca. U to je doba bilo rudarstvo kod nas toliko razgranjeno, da su naši krajevi, naročito Bosna i Srbija, bili na svjetskome glasu sa svoga rudnoga bogatstva i rudarskoga života. Rudarstvom su se bavili Sasi, koji su radi toga bili pozvani iz Erdelja u naše krajeve, a radove oko eksploatacije finansirali su dubrovački kapitalisti. Dubrovčani su bili i vrsni zlatari i kovači novca. Po rudnicima, u rupama, radili su uz Sase i domaći ljudi; te rudarske radnike zvali su naši rupnicima (u talijanskim dokumentima zovu ih *valturchi*) ili srebrodelcima (u Srebrnici). Rudnici su bili dakako svojina zemaljskih poglavica, koji su davali rudnike u zakup saskim i dubrovačkim preduzetnicima. Tako je na pr. ban Kulin (oko 1180.—1204.) dao bosanske rudnike u zakup dvojici Dubrovčana, koji su između Olova i brda Jagodine sagradili dvorac Dubrovnik. Ban Tvrtko daje srebrne rudnike od Ostrožnice kod Fojnice nekom Sasu Hansu, sinu Petrovom, koji u društvu dvojice Dubrovčana počinje sa radom u rudnicima g. 1346.

Iz bosanskih rudnika vadilo se najviše srebro i olovo; da se vadilo još i zlato i bakar znamo po tome, što ban Stjepan 1339. uvjerava Trogirane, da njihovi trgovci mogu u Bosni biti „*sicuri cum omnibus, auri, argenti, cupri et cuiuslibet metalli*“, a kralj Tvrtko Tvrtković dopušta g. 1422. Mlečanima da izvoze zlato i srebro. Srebro i olovo dobivali su iz srebronosnih olovnih ruda, galenita, koji se razvio u velikoj količini oko Kreševa, Fojnice, Olova, Srebrnice i Zvornika, gdje su u srednjem vijeku bili otvoreni rudnici. U XIV. vijeku poznata je Ostrožnica kraj Fojnice kao sasko i dubrovačko naselje; u njoj se nalaze srebrni rudnici. Početkom XV. vijeka centar je bosanske trgovine rudama u Fojnici, gdje su nastanjeni rupnici i Dubrovčani; u Deževici, gdje je sjedište komesa; u Dusini i Kreševu, gdje je sjedište kralja. Rudni materijal, što se dobivao iz tamošnjih rudnika, preradjivao se u srebro.

Mnogo su srebra davali i rudnici oko Srebrnice, koja se prvi put spominje g. 1376. U to je doba ona već važno trgovačko mjesto puno dubrovačkih doseljenika. Dubrovčani su opskrbljivali srebrničke rupnike (*valturche*) živežem, vinom i robom, koju su rupnici plaćali sirovim srebrom. Iz rudnika, koji su obilovali srebrnosnim galenitom, vadilo se najviše srebro i nešto malo olova, koje je bilo poznato pod imenom „*plumbum durum de Sreberniza*“. Ruda se izvozila u Srbiju, Ugarsku, Dubrovnik i druge dalmatinske gradove. God. 1417. podignuta je u Srebrnici i kovnica novca. Pri kraju srednjega vijeka bila je Srebrnica najveći trgovački i rudarski grad između Save i Jadranskoga Mora; po toj bogatoj Srebrnici dobila je bosanska crkvena pokrajina nadimak „*Bosnia Argentina*“. Dubrovčani imali su svoju koloniju i u Zvorniku, koji se u srednjem vijeku zove Zvonik. God. 1428. spominje se, da se zvorničko srebro izvozi u Dubrovnik.

Olova se najviše dobivalo u Bosni iz galenita kod mjesta Olova. Rudnici kod Olova bili su na veliku glasu u XIV. i XV. vijeku; olovo, što se iz tih rudnika dobivalo, bilo je poznato pod imenom „*plumbum dulce de Olovo*“. Izvozilo se upravo u masama što u Dubrovnik, što Neretvom na more, odakle su ga slali brodovima u Mletke, Siciliju i dr. Bilo je dana, kad je u Dubrovnik stigla karavana od 300 konja natovarenih bosanskim olovom.

Kako iz bosanskih, tako se je i iz srpskih rudnika vadila većinom srebrnosna olovna ruda, galenit i preradjivala u srebro. Već za Stevana Prvovjenčanoga (1196.—1228.) spominje se na gornjem Limu vrlo važno mjesto Brskovo (današnji Plav); ono je bilo u XIII. vijeku najvažnije trgovačko mjesto Srbije znatno naseljeno Dubrovčanima, Kotoranima i malo Mlečanima. U blizini Brskova nalazili su se veliki rudnici srebra, a možda se tamo dobivalo i zlata, jer se u listinama iz g. 1318. spominje Mlečanin zlatar Blaž, koji je u Brskovu radio svoj zanat 16 godina.

Ali najvažniji rudnici Srbije u srednjem vijeku bijahu na Rudniku, Kopaoniku, Trepči i Novom Brdu. Već u XIII. vijeku poznat je Rudnik kao znamenito dubrovačko naselje. Za vladanja Stevana Uroša II. Milutina razvija se u Rudniku rudarstvo u velikim dimenzijama. Tu se nalazi i kovnica novca. Bujan rudarski život bijaše tu još za vladanja despota Gjurgija Brankovića, koji je boravio u dvorcu Srebrnici u blizini Rudnika. Danas nalazimo u tim krajevima mnoge stare rovove, iz kojih ističu potoci, zatim porušena okna, silnu količinu troske, ostatke talionica kao davne svjedoke nekadašnjega razgranjenoga rudarskoga poslovanja.

Još važniji od Rudnika bio je Kopaonik; to je uopće naš najznamenitiji rudarski kraj u srednjem vijeku. G. 1303. spominje se u tom kraju grad Trepča, koje se ruševine nalaze jedno 7 km sjeveroistočno od Kosovske Mitrovice. Trepča je bila velik i bogat grad; najveći stepen svoga razvitka dosegla je u prvoj polovini XV. vijeka, pa je tada uz Novo Brdo, Rudnik i Prištinu bila najvažnije trgovačko mjesto u Srbiji. Bilo je u njoj saskih i dubrovačkih doseljenika, a ponešto i Splićana. Saski rupnici (*valturchi*) radili su u srebrnim rudnicima, koji su davali mnogo srebra. U gradu je bilo i mnogo zlatara, pa se zaključuje, da je tu morala biti kovnica novca. Dubrovčani i Kotorani naselili su se, po vijestima iz g. 1280., i u gradiću Brveniku, koji se nalazi istočno od Trepče na sastanku potoka Brvenice i Laba na putu od Prištine u Kuršumliju. I tu su se nalazili bogati srebrni rudnici, koji su koncem XIV. vijeka dospjeli u ruke vlastele Musića, o čemu pjeva i narodni pjevač u kosovskom ciklusu pjesama:

„Vino pije Musiću Stevane

U majdanu čisto srebrnome“.

Svuda u okolini Trepče nalaze se velike mase troske, koja nas prati sve uz Trepčanski potok idući od Kosovske Mitrovice. Tu se vide i prostrane

stare ceste, koje nas vode do Staroga Trga, gdje se nalazimo u samim rudnicima, u kojima se radilo i rovovima i raskopima. Najprije upadaju u oči ruševine stare hrišćanske crkve, koja je bila centar rudarske kolonije. Crkva je većim dijelom razorena, pa je ostao od nje samo jedan mali dio, na kom se vide slike svetitelja u dobro uščuvanim bojama. Oko crkve nalaze se tragovi ruševina kuća, koje su pripadale rudarskom naselju. U neposrednoj blizini crkve vide se stare raskopine na pirit, galenit, halkopirit i sfalerit. Zapravo je to „željezni klobuk“, koji je postao oksidacijom pirita. Rude, koje ovdje izbijaju u znatnoj količini na površinu, stvaraju debelu žilu, koja leži u filitima, kroz koje je probila andezitna lava. Iz starih rovova ističe ovdje jak potočić termalne i jako željezovite vode, iz koje se neprestano taloži po koritu potoka i uz njegove obale limonitna tvar tako, da je sve u neposrednoj okolini prekriveno talogom žuta i crvenožuta limonita. Zanimljivo je, da stanovnici ovih krajeva zovu tu željezovitu vodu *kiževina* ili *kiža*, što može vrlo lako da potiče od njemačkog naziva Kies (Eisenkies, Kupferkies), jer su u tim krajevima, kako smo kazali, radili u prijašnja vremena rudari Sasi.

U Staroj Trepči, koja je udaljena jedno po kilometra od Staroga Trga, vidimo stare, dobro građene široke ceste, koje vode na sve strane. Po mjestima, gdje se nalaze ostaci ruševina starih kuća, možemo lako da stvorimo sliku nekadašnjega rudarskoga grada. Tu na brdu, ponad Trepčanskog potoka, redjaju se mnogobrojna okna; leže jedna do drugih. Sva su skoro zasuta, pa samo po koje ide u veće dubine tako, da se u jednom može slutiti dubina od kojih 100—150 m; kad se naime baci u okno kamen, čuje se kroz koju sekundu, kako se kotrlja do samoga dna. Tu se dakle radilo u velike pomoću okna. Ali da se je radilo i pomoću rovova, vidi se ispod brda u potoku Trepčanskom, gdje se nalaze ruševine nekadašnje vrlo lijepe mošeje (iz čega zaključujemo, da je Trepča u prvo doba turske in vazije bila takodjer važan turski grad).

Srebro su još vadili iz rudnika kod Plane, koja se spominje 1346.-1415. U njoj se nalazila dubrovačka kolonija, koja je imala trgovačke veze sa Srebrnicom u Bosni, sa Rudnikom, Kruševcem, Trgovištem u Novom Pazaru i sa Trepčom. Rudnika je bilo i u Kovačima, Koporičima i Ostracima. Najezdom Turaka u tamošnje naše krajeve prestao je rudarski život; bogati trgovački gradovi propadoše, a danas vidimo od svega toga davnoga i kulturnoga rada naših djedova tek tužne ruševine. Po čitavom tom kraju koji još u XVI. i XVII. vijeku zovu talijanski putnici srebrnom planinom „Montagna dell' argento“, nalazimo svu silu troske, porušene rovove i okna tragove talionica i goleme mase rudne jalovine (rudine).

Na jugu Kopaonika između Kosova Polja i Morave, oko 35 km istočno od Prištine nalazio se je u srednjem vijeku grad Novo Brdo, koje je između 1350.—1450. bilo najveće i najčuvanije gradsko naselje u unutrašnjosti

čitavoga Balkana. U to je doba Novo Brdo na toliku glasu sa svoga rudnoga bogatstva, da Bizantinac Kritobulos piše, kako se oko Novog Brda iskapa zlato i srebro jednostavno iz zemlje, a Francuz Brocquière čuo je 1433., da tamošnji zlatni i srebrni rudnici daju godišnje 200.000 dukata čistoga dobitka.

Prvi put spominje se Novo Brdo 1326. već kao znamenito mjesto. U njemu je često boravio car Stevan Dušan. Dubrovčani su i ovdje imali svoju koloniju, pa u početku XV. vijeka članovi mnoge dubrovačke vlastele borave stalno u Novom Brdu; neki su imali svoje velike trgovine, neki su bili vlasnici rudnika. Do silna razvitka dospjelo je Novo Brdo za vladanja kneza Lazara, Stevana Lazarevića i despota Gjurgja Brankovića. Oni su podigli rudarstvo do velike visine. Po rudnicima su radili saski „purgari“, koji su vadili srebronosi galenit i istaljivali ga u srebro. Srebro Novoga Brda bilo je poznato pod imenom „argento de glama“ i sadržavalo je zlata. Moglo se izvoziti na sve strane, jer je Novo Brdo bilo u trgovačkim vezama sa Sofijom, Jedrenima, Carigradom, Seresom, Solunom, a na zapadu sa Dalmacijom i Italijom.

U XV. vijeku izvrgnuto je Novo Brdo ratnim trzavicama. Njegovo je silno blago mamilo Turke i oni počinju navaljivati na te naše krajeve. Sultan Musa navalio na grad 1413. ali bude junački odbijen. Od to doba ne prestaju turske navale na Novo Brdo, koje naš kralj u pismu ugarskom kralju zove „Caput patriae et ob mineras nervus belli“. Godine 1441. dne 21. juna pade grad u ruke Turaka, koji su ga držali do god. 1444., kad ga opet osvoji despot Gjurgj Branković, ali ne za dugo. Sultan Muhamed II. opkoli grad god. 1445. i nakon 40-dnevnoga bombardovanja velikim topovima pade Novo Brdo dne 1. juna. Katastrofa Novoga Brda zaprepastila je naročito Ugarsku i Italiju ne toliko zbog važnih trgovačkih odnosa, koliko radi toga, što je pala jaka kula Hrišćanstva.

U srednjem vijeku cvalo je još rudarstvo oko Janjeva na jugozapadu od Novoga Brda, pa oko Kratova. U Kratovu su bili važni srebrni i bakarni rudnici. Dubrovčani su stupili bili u prijateljske veze sa braćom Dražašem i Konstantinom († 1394.), gospodarima Kratova i bacili se tako na eksploataciju tamošnjih rudnika. Rudarstvo je oko Kratova uspjevalo od XV.—XVI. vijeka, pa je u XVI. vijeku Kratovo najvažnije rudarsko mjesto evropske Turske; tu se kovao srebrni i bakarni novac.

Dubrovčani su radili i u Sjeveroistočnoj Srbiji, gdje se spominje u sredini XV. vijeka mjesto Železnik kod Kučeva sa olovnim rudnicima. Isto tako imali su oni srebrne rudnike u Podrinju kod Zajače.

Po mnogobrojnim ostacima starih talionica razabira se, da se u srednjem vijeku radilo mnogo i u željeznim rudnicima. Osobito su se mnogo bavili eksploatacijom željeznih ruda na Kopaoniku, gdje se u blizini mjesta Rudnjaka nalaze ostaci stare talionice. U takvim rudnim krajevima obrađivali su ljudi liveno željezo u t. zv. samokovima, kakvih još i danas na-

lazimo na pr. u Bosni kod Vareša. Samokovi su neke vrste vodenice, u kojima se posebnim napravama kuje gvozdje. Pomoću velikoga točka, koji se okreće vodenom snagom, dižu se i spuštaju teški čekići i na nakovnju sami kuju željezo, koje čovjek drži kliještima i po volji ga obradjuje. Ovaj način obradjivanja, livenog gvozdja bio je poznat na čitavom slavenskom Jugu. Tako Gundulić spominje u svom „Osmanu“ (Pjev. III.) mjesto Samokovo, između Rila i Vitoša u Bugarskoj, na glasu još i danas sa svojih željeznih ruda:

„Da se gvozden stan nahodi  
Martov ovdí, bi na glasu:  
Gvozdje miri, gvozdje podi  
Stupi i vrata od gvozdja su.  
Tim još i sad, gdi se reče  
Da je od boja bog stanovo,  
Gvozdena se ruda siječe,  
Mjesto je zvano Samokovo“.

Padom naših bogatih krajeva pod tursku vlast, pala je i naša sloboda, a s njom i kulturni i ekonomski razvitak naroda. Rudarstvo je posve prestalo i rudni krajevi opustiše. Kad je god. 1718. dio Srbije pao pod vlast Austrije, rudarski se život počeo buditi. Ali ponovnim padom pod tursku vlast 1735. prestaje i rudarski rad. Konačnim oslobodjenjem jednoga dijela naših krajeva od Turčina za vrijeme junačkoga Karagjorgja počelo se opet razvijati rudarstvo i od to doba napreduje sve jače.

U gornjim stranama naše Države, u Hrvatskoj i Sloveniji, nemamo u staro doba onako bujnoga rudarskoga života kao u Bosni i Srbiji. Uzrok je tome u geološkim prilikama Hrvatske i Slovenije. Dok su se još u Sloveniji razvile na nekoliko mjesta olovne i željezne rude u znatnim količinama, koje omogućuju razvitak rudarstva, dotle u Hrvatskoj ima tih ruda tek na tri mjesta u nešto većoj količini: u Samoborskoj, Petrovoj i Trgovskoj Gori. Pa i tu pretežu željezne rude, dok olovne i bakarne dolaze u manjoj količini. Ipak po nekim ostacima starih rudarskih radova, dade se zaključiti, da su se u Sloveniji već u t. zv. halštatsko doba bavili istaljivanjem željeznih ruda. Prije Rimljana radilo se mnogo na željezu u Bohinju, Ajdovskom Gradcu, Rudnom Polju, sjeverno od Bleda, na podnožju Bistrice i oko Černomelja. Olovo se vadilo već prije Rimljana na Škoškom Hribu i kod Mokronoga. Rimljani su u Sloveniji vadili naročito srebronosne galenite iz rudnika u Mežici i Črnoj.

U Hrvatskoj, sudeći po ostacima željezne troske, morao se također čovjek baviti rudarstvom. Tako na pr. nalazimo u Zagrebačkoj Gori iznad Gornje Stubice u okolini Brezja i Slanoga Potoka svu silu željezne troske, koja se vuče i na južne obronke gore prema Markuševcu. Na jednom mjestu iznad Kozjega Herda (neki zovu to mjesto Kozji Hrbet) nadjeni su ostaci

malene peći, koja je služila za istaljivanje željeza. *Kišpatic* misli, da su u Zagrebačkoj Gori morali raditi njemački rudari, pa je od njih ostao i naziv Herd (ognjište). Kad je to bilo, ne znamo, jer nemamo nikakvih vijesti o istaljivanju željeza. Možda ta troska potiče iz doba davno prije srednjega vijeka?

Da su se u starije doba bavili rudarstvom u Zagrebačkoj Gori, zaključujemo po nekim historijskim vijestima. Tako 1610. tuži udovica Nikole Gregorijanca, kao vlasnica Medvedgrada, neke zagrebačke gradjane, da su u njezinoj Medvedskoj Gori tražili i kopali zlatne i srebrne rude. God. 1613. načinio je Nikola Zrinjski u ime svoje žene Ane Nadasdy-eve i svoga brata Jurja Zrinjskoga pismeni ugovor sa zagrebačkim gradjanima, Jurjem Cinoborskim i Ivanom Siberom, radi kopanja medvedgradskih ruda. Taj je ugovor podnesen poslije 9 godina kralju Ferdinandu II. na potvrđenje i on ga je 8./VIII. 1622. potvrdio.

Znatnu količinu željezne troske nalazimo još u gori Ivanščici uz potok Željeznicu, što kod Margečana niže Ivanca utiče u Bednju. Nisu nam poznate iz istorije nikakove vijesti, koje bi se odnosile na kopanje i istaljivanje željezne rude u Ivanščici, pa je, nema sumnje, i ovdje u vrlo davno doba bila razvita primitivna industrija željeza.

U Trgovskoj gori, gdje su se razvile željezne, bakarne i srebronosne olovne rude, imali su grofovi Zrinjski svoje rudnike. Kralj Matija Korvin dopustio je 21. februara 1463. grofu Petru Zrinjskome, da smije kopati zlato, srebro, olovo i druge rude. God. 1526. izvješćuje Nikola Zrinjski, da od kopanja srebra i olova dobiva godišnje 30.000 dukata čistoga dobitka. Kralj Ferdinand dopustio je Nikoli Zrinjskom, da od srebra izvadenoga iz rudnika kod Gvozdanskoga smije kovati novce (fenige) u kovnici, što se nalazila u Gvozdanskome. God. 1549. dobivalo se iz gvozdanskih rudnika mjesečno 1.180 lota čistoga srebra. Kad je 13. januara 1578. palo Gvozdansko u ruke Turaka, zadesi tamošnje rudnike ista sudbina kao one po Bosni i Srbiji. Ferhat paša, osvajač Gvozdanskoga, dade razoriti rudnike u Ljeskovcu i Majdanu.

Samo dakle gruba sila Turčina, koji nam je na nekoliko vijekova oteo slobodu, bila je uzrok, da nismo mogli crpati rudno blago i upotrijebiti ga na kulturni razvitak svoga naroda. Ali danas, kad smo oslobodjeni i kad su skoro svi dijelovi našega naroda ujedinjeni u jednu Državu, leži to blago slobodno i čeka, da ga naš čovjek izvuče i upotrijebi u svoju korist.<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> *M. Vakuć*: Авалски цинабарит и преисторијско насеље у Винчи. Споменица С. М. Лозанића. Београд 1922. pag. 256. — *B. Walter*: Beitrag zur Kenntniss der Erz-lagerstätten Bosniens. Sarajevo 1887. pag. 92., 153. — *D. Jovanovitch*: Serbie Orientale, Or et Cuivre. Paris, 1907. — *A. Rücker*: Einiges über das Goldvorkommen in Bosnien. Wien, 1896. — *C. Jireček*: Die Handelsstrassen und Bergwerke von Bosnien und Serbien. Prag 1879. — *S. Novaković*: Brskovo, Danj i carina svetoga Spasa s jadranskoga primorja u stare srpske zemlje. Rad Jugoslavenske Akademije, knjiga 37. Zagreb, 1876. — *R. Horvat*: Slike iz Hrvatske Povijesti. Zagreb, 1910.

## ALFABETSKO KAZALO.

- Abbe-Czapskov refraktometar 299  
acetilenski tetrabromid 256  
aciditet magne 498  
Adams-ov polarizacioni aparat 364  
adsorpcija 457  
— boja 457  
adsorpciona voda 404  
adsorpcioni spojevi 456  
adular 241, 312, 314, 378, 485  
agents minéralisateurs 479, 481, 498, 517  
agregat 15  
— bubrežasti 29  
— divergentni 28  
— fanerokristalasti 29  
— grozdasti 29  
— gusti 29  
— igličasti 28  
— kriptokristalasti 29  
— kristalasti 28, 369, 586  
— kuglasti 29  
— lisnati 28  
— paralelni 28  
— pločasti 29, 575  
— prutičasti 28,  
— radijalni 28  
— stalaktitni 29  
— vlasasti 28, 586  
— zrnasti 28  
agregatna polarizacija 370  
agregatno stanje vode, dijagram 492  
ahat 272, 458  
Airy-eve spirale 367  
aksijalni položaj 379  
aksinit 217, 516, 573  
aktinolit 245, 376, 555  
alabandin 484  
alabaster 373  
alaun 23, 51, 248, 276, 370, 371, 372, 512,  
517, 556  
albit 241, 312, 332, 369, 417, 426, 430, 439,  
481, 485, 499, 517, 582, 583  
albit-anortitna grupa 507  
albitni filit 582  
— sraslaci 235  
alemontit 539  
alfa kalcit 575  
alge 529, 534, 535  
alkalijska reakcija 460, 466  
alkalijski alumosilikati 498  
— amfiboli 499  
— niz stijena 503  
— pirokseni 499  
— sulfidi 527  
alkalijsko-kalcijski alumosilikati 498  
alkosoli 452  
almandin 376, 378  
alohromatski minerali 311  
alohromatsko obojenje 453  
alotriomorfni sastavci 501  
alotropija 408  
alotropni elementi 408  
aluminij 391, 393, 400, 465, 472, 569  
aluminijski hidroksid 564  
— klorid 509, 511  
— sulfati 556  
alumokremična kiselina 550, 564  
— anhidrid 579  
alumosilikati 564  
— alkaljski 498  
— alkalijsko-kalcijski 498  
— kalcijski 498  
ametist 310  
amfibol 251, 265, 336, 369, 485, 555, 571, 577,  
578, 580, 582, 583, 585, 587, 589  
amfibolit 583  
amfibolni gnajs 583  
amonij 465, 545  
amonijak 509  
amonijski fluorid 509  
— klorid 465, 508, 509, 517  
— oleat 16  
amorfni minerali 29, 30, 254, 452  
— optička svojstva 289, 317  
amplituda titraja 285  
anabergit 554  
anaerobni bakteriji 535  
analcim 97, 370, 371, 485  
analiza kvalitativna 386  
— kvantitativna 386  
— izvor vode 520  
— Jadranskoga Mora 520  
— morske vode 520, 523, 525  
analizator 342  
analogni pol 381

anatas 409, 410, 411, 478, 515, 579, 585  
 andaluzit 329, 572, 584, 585  
 andezin 499  
 andezit 18, 25, 252, 514, 554  
 andradit 574  
 anglezit 314, 417, 563  
 anhidrit 263, 265, 268, 403, 544, 545, 546,  
 548, 585  
 anioni 549  
 anizotropan 13  
 anizotropni minerali 315, 317, 345  
 anomalije optičke 370  
 anortit 213, 223, 232, 265, 332, 417, 426, 430,  
 481, 482, 485, 486, 499, 513, 550, 571,  
 572, 573, 577, 578, 589  
 anortoklas 507  
 antilogni pol 381  
 antimon 393, 394, 398, 466, 472  
 antimoni 246, 266, 310, 376, 466, 477, 478,  
 484, 554  
 antimonski rudnici 514  
 aparat polarizacioni Adams-ov 364  
 — Schneider-ov 364  
 apatit 79, 153, 244, 246, 263, 266, 281, 312,  
 314, 325, 370, 371, 403, 467, 479, 481,  
 485, 498, 501, 502, 507, 515, 516, 557,  
 574, 591, 592  
 apofilit 245, 370, 485  
 apsorpcija svijetla 310, 333  
 apsorpciona ploha 335  
 aragonit 45, 189, 235, 238, 314, 374, 378,  
 408, 410, 414, 426, 427, 483, 530, 534,  
 585, 588  
 areometar 257  
 argentit 417, 469, 479, 486, 585  
 argilošist 17  
 argon 509  
 arsen 393, 394, 466, 472, 477, 509  
 arsenasta kiselina 517  
 arsenijati 554, 560  
 arsenit 554  
 arsenopirit 484, 515, 516, 539  
 arsenska kiselina 315, 554, 560  
 arsenske rude 516, 592  
 arsenski rudnici 514  
 ascenzija 533, 590  
 asfalt 539  
 asimetrijska disperzija, optičkih osi 361  
 asimetrijska ploha 82  
 asimilacija magme 504, 505  
 asterizam 292  
 astrakanit 489, 545  
 ašarit 545  
 atakamit 511, 560  
 atermanski minerali 372  
 atlanska svojta 504  
 atmosfera 389  
 atmosferilija 564, 582  
 atomi 87, 549  
 — ekvivalentni 407  
 — tetraedrijski položaj 452  
 atomska mreža 86  
 atraktivni minerali 324  
 augit 246, 249, 252, 379, 481, 482, 485, 491,  
 513, 514, 573, 577, 578, 580, 585  
 augitni gnajs 583  
 auriopigment 312, 313, 466, 477, 512, 517,  
 527, 554  
 Auvergne-ska lava 511  
 azbest 245, 277  
 azot 467, 524  
 azotna kiselina 461, 464, 560  
 azurit 311, 313, 483, 484, 553, 557, 590  
 Bakar 96, 372, 383, 393, 394, 398, 400, 452,  
 466, 473, 484, 516, 538, 545, 554, 561,  
 562, 585  
 bakarna crvena ruda 400  
 bakarne rude 516, 600  
 bakarni rudnici 599  
 — sjajnik 398, 590  
 bakteriji 535, 537  
 — anaerobni 535  
 — sumporni 536  
 — tionske kiseline 536  
 balas-rubin 482  
 balzam kanadski 302, 344  
 barij 392, 393, 466, 473  
 — spektar 466  
 barisfera 388  
 barit 23, 183, 185, 186, 187, 239, 245, 265,  
 274, 276, 315, 378, 417, 466, 485, 527,  
 531, 532, 586, 588  
 bavenski zakon 230  
 baza 70, 401, 490, 550  
 bazalt 499, 506, 573  
 bazaltna magma 498, 506, 573  
 bazicitet magme 498  
 bazična magma 516  
 — reakcija 401  
 — so 401  
 bazične eruptivne stijene 393, 503  
 bazični silikati 498  
 bazni pinakoid 70, 140  
 — heksagonski 146  
 — monoklinski 194  
 — rompski 179  
 — tetragonski 127  
 — triklinski 211  
 Becke-ova linija 301  
 — metoda 301  
 behilit 513  
 beloniti 25  
 benitoit 149  
 benzosōli 452  
 beril 146, 164, 165, 166, 169, 170, 171, 311,  
 370, 378, 481, 515, 516, 517, 592  
 berilij 392, 393, 466  
 bezbojni minerali 310  
 — silikati 499  
 bigar 522, 527, 529  
 bijela boja višega reda 348  
 — galica 420, 429  
 bijelo svijetlo 285  
 bikarbonati 552

biljke 529, 533  
 binarni sistem, dijagram 436  
 biotit 228, 230, 232, 336, 384, 481, 502, 507,  
 514, 515, 572, 583, 589  
 biotitni gnajs 583  
 bipiramida diheksagonska 144  
 — ditetragonska 125  
 — ditrigonska 148  
 — heksagonska I. reda 142  
 — II. reda 143  
 — III. reda 152  
 — rompska 177  
 — tetragonska I. reda 124  
 — II. reda 124  
 — III. reda 131  
 — trigonska I. reda 148, 156  
 — II. reda 156, 158  
 — III. reda 156  
 bireta 258  
 bisektriks oštra 327  
 — tupi 327  
 biserka 464  
 bisfenoid rompski 182  
 — tetragonski 55, 129, 133  
 bišofit 541, 543, 544, 545  
 bitovnit 499  
 bitumen 539  
 bituminozni sedimenti 537  
 bizmut 372, 379, 383, 394, 466, 474, 539  
 bizmutit 466, 484, 540  
 bizmutske rude 515, 516, 592  
 bizmutski sjajnik 517  
 bjelilo višega reda 348  
 bjelutak 28  
 bledit 545  
 blistanje dragulja 297  
 blizanci 228  
 bočni tlak 590  
 boja, adsorpcija 457  
 — bijela višega reda 348  
 — crvena I. reda 348  
 — II. reda 348  
 — III. reda 348  
 — IV. reda 348  
 — prelijevanje 312  
 bojadisani minerali 310, 555  
 — silikati 498  
 bojadisanje plamena 465  
 boje interferencione 347  
 — Newton-ove 349  
 — polarizacione 347  
 boksit 32, 456, 555, 556, 591, 592  
 bolonjski kalavac 315  
 bor 498, 516, 573  
 boracit 237, 381, 485, 545  
 boraks 464, 526, 547  
 boraksna jezera 526, 546  
 — izlučivanje minerala 546  
 borati 513, 546  
 borna kiselina 490, 509, 513  
 bornit 514, 516, 538, 539, 561, 562, 563  
 boronatrokalcit 547  
 bort 272

Bošnjakovičev piknometar 255  
 Bragg-ov spektrometar 91  
 brahidijagonala 176  
 brahidome rompske 179  
 — triklinske 211  
 brahios 176, 209  
 brahipinakoid rompski 179  
 — triklinski 211  
 brahipiramida rompska 178  
 — triklinska 210  
 brahiprizma rompska 178  
 — triklinska 210  
 braunit 399  
 Bravais-ova teorija 85  
 breča 570  
 brešit 559  
 brid 34  
 — osnovni 124  
 — ovršni 124  
 bridni kutovi 36  
 brohantit 484  
 broj ploha 35  
 — osi simetrije 53  
 — simetrija 52, 53  
 brom 392, 467, 545  
 bromit 560  
 bromoform 256  
 broncit 266, 376, 427  
 Brown-ovo gibanje 453  
 brucit 401, 404, 485, 574  
 brukit 333, 409, 478, 579, 585  
 brushit 559  
 brusilovac 17, 570, 572, 577, 580, 581  
 brušenje minerala 343  
 — stijena 343  
 bubrežasti agregati 29  
 buhit 572  
 buhit 572  
 burača 464  
 busengolit 513  
 Caklova 29, 307  
 Carangeot-ov goniometar 37  
 celestin 417, 527, 545, 588  
 cementaciona zona 562  
 centar simetrije 54  
 centrirati 38  
 cer 392, 393  
 cerusit 183, 228, 309, 314, 417, 426, 427, 483,  
 530, 554, 557, 563, 585  
 cezij 392, 545  
 Chauines-ova metoda 304  
 cijanohroit 512  
 cinabarit 527, 594  
 cinak 372, 393, 394, 467, 474  
 cinkit 451, 479  
 cinvaldit 195, 515  
 cirkon 128, 135, 137, 138, 244, 477, 480, 481,  
 498, 501, 502, 507, 515, 591  
 cirkonij 393  
 cirkularna polarizacija 288, 365

cirkularna polarizacija u izbruscima 367  
 — vještačka 368  
 cirkularno polarizovano svjetlo 288  
 cjedina 29  
 — kremena 371, 526  
 cjepljivost 261  
 coisit 329, 566, 573, 582, 583  
 crown-staklo 297  
 crni krst 350, 357, 360, 370  
 crvena bakarna ruda 400  
 crvena boja I. reda 348  
 — II. reda 348  
 — III. reda 348  
 — IV. reda 348  
 crvena željezna ruda 400  
 Czapski-Abbe-ov refraktometar 299

## Čilibar 539

Četvrtine piramida 210  
 čilska salitra 559  
 čvrste otopine 425, 426  
 čvrstina 28, 275

Dacitna magma 506  
 Dalton-ov zakon 398  
 datolit 573  
 Debye-va metoda 92  
 deformacija kristala 266  
 — minerala 278  
 — mehanička 582  
 dekrescencija 50, 84  
 deltoidski dodekaedar 102  
 — ikozitetraedar 42, 96, 112  
 dendrit 32  
 descenzija 533, 590  
 desni hemiedar 77  
 — likovi 77  
 destilacija 538  
 — frakcionirana 377  
 deuteropiramida heksagonska 143  
 — tetragonska 124  
 deuteroprizma heksagonska 146  
 — tetragonska 126  
 devijacija kut 303  
 — minimum 303  
 — svijetla 302  
 diferencijacija magmatička 504  
 — magme 504, 505  
 dlufuzne pojave 458  
 digira 53  
 digonska os 53  
 diheksagonska bipiramida 144  
 — piramida 147  
 — prizma 146  
 dihoskop 333  
 dihoskopska lupa 333  
 dijabazi 499, 568  
 dijagram agregatnoga stanja vode 492  
 — binarnoga sistema 436

dijagram izodimornih smjesa 444, 445  
 — kalcita 575  
 — kristalizacije 436, 437  
 — taljenja 436  
 — ternarnoga sistema 496  
 — topljivosti 542  
 dijakisdodekaedar 104  
 dijalog 266, 268  
 dijaliza 454  
 dijamagnetični minerali 379  
 dijamant 10, 87, 229, 277, 294, 297, 309, 314, 370,  
 373, 374, 380, 398, 408, 409, 410, 477, 585  
 dijamantna sjajnost 265, 309  
 dijatermanski minerali 372  
 dijatomeje 529, 534, 564  
 dijorit 581  
 dilatacija 276  
 dimetrijska ploha 82  
 dimorfni minerali 411  
 dinamometamorfoza 581  
 diopsid 268, 572, 573  
 dioptas 404, 483  
 disimetrijska ploha 82  
 diskrazit 539, 540  
 dislokaciona metamorfoza 581  
 disocijacija 407  
 disperzija optičkih osi  
 — asimetrijska 361  
 — horizontalna 361  
 — nagnuta 360  
 — simetrijska 358  
 — unakrštena 361  
 disperzija svjetla 286  
 disperzioni 453  
 disperzna faza 452, 453  
 disperzno sredstvo 452, 453  
 disperzoidi 453  
 disten 240, 333, 579, 580, 583, 584  
 ditetragonska bipiramida 126  
 — prizma 125  
 ditrigonska bipiramida 148  
 — piramida 155  
 — prizma 148, 155, 158  
 divergentni trakasti agregati 28  
 dodekaedar deltoidski 102  
 — pentagonski 104  
 — rompski 42, 95, 110  
 dodirni sraslaci 233  
 dofinejski zakon 234  
 dolomit 28, 79, 160, 245, 261, 280, 315, 385, 403,  
 485, 516, 555, 556, 557, 565, 566, 573, 586, 592  
 dolomitne stijene 563, 565, 575  
 doma 68  
 — monoklinska 193, 194  
 — poprečna 69  
 — rompska 178, 179  
 — triklinska 210, 211  
 — uzdužna 69  
 dopunci sraslaci 231  
 dragulji, blistanje 297  
 — svjetljenje 297  
 druga raspolovnica 327  
 druzna kristalna 26, 27, 591  
 dušična kiselina 459, 461, 464, 560

dušik 467, 490, 509, 524  
 duglasit 545  
 duvaljka 462  
 dužina vala 284  
 dvolom 315, 323, 325  
 — karakter 352, 358  
 — određivanje 352, 354, 358, 361, 362  
 dvolomac 315  
 dvolomni minerali 315  
 dvoosni minerali 317, 326, 355  
 dvosoli 402, 543  
 dvostruki sraslaci 231  
 Efuzija magme 501, 572  
 efuzivna stijena 503  
 egirin 499, 589  
 eklogit 583  
 ekonomska mineralogija 5, 593  
 ekshalacije 507, 532  
 — plutonske 508, 514  
 — sedimentnih stijena 508, 517  
 — vulkanske 508  
 eksogena kontaktna metamorfoza 573  
 eksponent ekstraordinarne zrake 323  
 — loma 294, 306, 326, 327  
 — određivanje 297, 303, 326, 332  
 — ordinarne zrake 323  
 ekstraordinarna zraka 315, 318  
 ekvatorijalna ravnina 61  
 ekvatorijalni položaj 379  
 ekvivalentne atomske grupe 407  
 ekvivalentni atomi 407  
 elastični minerali 275  
 elastičnost 276  
 — krivulja 277  
 elektriciteta, vodjenje 383  
 električna svojstva minerala 380  
 električne struje 539  
 električno izlučivanje kristala 484  
 elektrolit 549  
 elektrolitični procesi 539  
 elektroluminiscencija 315  
 elementi alotropni 408  
 — izomorfni 421  
 — kemijski 388  
 — kristala 34  
 — reakcije 465  
 — redni broj 396  
 — samородni 398  
 — simetrije jednostavni 55  
 — spajanje 398  
 — tablica 394  
 — valjanost 397  
 — zamjenici 421  
 elementarni paralelepiped 85, 448  
 elementarno stanje elemenata 398  
 eleonorit 557  
 elipsoid rotacioni 319, 322, 324, 325, 335, 374  
 — troosni 327, 335, 374  
 eliptična polarizacija 289  
 emanacija 384  
 empirijske kemijske formule 405

emulzioni koloidi 454  
 emulzoidi 454  
 enantiomorfni hemiedar 77  
 — likovi 77  
 — minerali 364, 380  
 enantiotropni minerali 409  
 enargit 402, 514  
 endogena metamorfoza 574  
 enigmatit 507  
 enstatit 427, 479, 481, 491, 517, 555  
 epidot 245, 573, 582, 583  
 epimetamorfoza 582  
 epizona 581, 582  
 epsomit 403, 406, 420, 490, 531, 545, 556  
 eritrin 554  
 eritrosiderit 510  
 erupтивne stijene 29, 392, 499, 532, 565, 577,  
 580, 583, 591, 592  
 — bazične 393, 503  
 — efuzivne 503  
 — intruzivne 502  
 — kisele 503  
 — neutralne 503  
 erupтивni kalcit 574  
 — krečnjaci 499  
 eshinit 384  
 Etna, lava 491, 511  
 euhroit 184  
 eutektička kristalizacija 437  
 — smjesa 376, 435  
 eutektikum smjesa 435, 436

Fajalit 480, 510  
 fanerokristalasti agregat 29  
 farmakolit 483, 560  
 faza disperzna 452, 453  
 — titrajna 285  
 Fedorov-ljev goniometar 40  
 feldšpat, vidi glinenac  
 femski spojevi 504  
 fenakit 481  
 fenomen Tyndall-ov 453  
 fergusonit 384  
 fidlerit 560  
 figure svjetlene 291  
 — tlačne 268  
 — udarne 268  
 — Widmannstätten-ove 282  
 filipsit 238  
 filit 577, 598  
 — albitni 582  
 — kremeni 582  
 — sericitni 582  
 fitogeni minerali 537  
 fizička kristalografija 34  
 — pseudomorfoza 585  
 — simetrija 56  
 — svojstva izomornih smjesa 431  
 fizika mineralna 5, 253  
 fiziografija 5  
 fiziološka svojstva 385  
 flogopit 507, 573



florencij 396  
 fluidalna tekstura 500  
 fluiditet 25  
 fluor 393, 467, 515, 573  
 fluorescencija 314, 453  
 fluorid amonijski 509  
 — kositerni 315  
 — silicijski 509  
 fluoridi 490, 507, 511, 512, 513  
 fluorit 56, 58, 95, 232, 245, 247, 264, 265, 274, 276, 277, 279, 294, 306, 307, 311, 313, 314, 315, 385, 467, 483, 512, 515, 616, 517, 574, 586, 592  
 fluorovodična kiselina 459  
 fluorovodik 490, 498, 509, 511, 515  
 forme jednostavne 35  
 — kuglaste 30  
 — osnovne 45  
 — otvorene 35  
 — pseudosimetrijske 227  
 — zatvorene 35  
 formule kemijske empirijske 405, 427  
 — izomornih smjesa 427  
 — racionalne 405  
 — strukturne 405  
 forsterit 480  
 fosfati 498, 507, 557  
 fosfor 391, 392, 393, 467, 509, 515, 516, 557, 573  
 fosforescencija 314  
 fosforit 559  
 fosforna kiselina 557, 567  
 — so 464  
 fosforohalcit 557  
 fosilne smole 539  
 frakcionirana destilacija 377  
 frakcionirana kristalizacija 439  
 — magme 505  
 fronta 290  
 — zrake 290  
 fumarole 508, 512  
 Gabro 506, 514, 592  
 gajlisit 546  
 galenit 84, 241, 246, 263, 265, 281, 309, 310, 313, 417, 468, 478, 479, 484, 486, 512, 516, 538, 539, 554, 557, 561, 562, 563, 586, 589, 590, 592, 594, 596, 598, 599, 600  
 galenobizmutit 402  
 galica bijela 420, 429  
 — modra 403, 482, 531  
 — zelena 403, 482, 512  
 — željezna 427, 564  
 galvanska struja 383, 549  
 gamzigradit 336  
 ganit 478, 479, 481, 482  
 gasovi 507  
 gejzerit 537, 534  
 gejziri 526, 527  
 gejzirska voda 527  
 — vrela 534  
 gelenit 481, 482, 573  
 geli 32, 455, 564, 567  
 — ireverzibilni 455  
 — reverzibilni 455  
 geodinamski procesi 576  
 geokemija 588  
 geološki termometar 568  
 geometrija kristalna 33  
 geometrijska holodrija 79  
 — kristalografija 34  
 — simetrija 56, 79  
 — svojstva izomornih smjesa 429  
 gerhardit 483  
 getit 251, 459, 585  
 gibanje Brown-ovo 453  
 gips 198, 200, 201, 203, 229, 265, 277, 309, 403, 482, 489, 519, 527, 531, 537, 546, 547, 548, 550, 554, 555, 564, 569, 585, 588, 589  
 — crvena boja I. reda 352  
 — listić crvene boje I. reda 361  
 gira 53  
 giroedar 77, 106  
 giroedrijska hemiedrija 106  
 giroida 55  
 glatki lom 261  
 glauberit 545, 547  
 glauberova so 403, 489, 490, 512, 531, 545, 547  
 glaukiziranje 312  
 glaukofan 336  
 glaukofanit 583  
 glaukofanski škrljac 583  
 glavna os 122, 140, 176, 190, 209  
 glavne ravnine simetrije 94  
 glavni krug 61  
 — prerez 320  
 glazerit 512, 545  
 glicerosoli 452  
 glina 17, 385, 577, 580, 586  
 glinac 572, 577, 580  
 glinena tvar 513  
 glinenac 24, 211, 231, 251, 379, 515, 519, 572, 580, 589  
 globuliti 11  
 gnajs 516, 565, 566  
 — amfibolni 583  
 — augitni 583  
 — biotitni 583  
 — silimanitni 583  
 — tinjcasti 583  
 gnomonska projekcija 62  
 gnijljenje 537  
 gnjil kamen 566  
 Goldschmidt-ov goniometar 40  
 goniometar 37  
 — Carangeot-ov 37  
 — Fedorov-ljev 40  
 — Goldschmidt-ov 40  
 — kontaktni 37  
 — Penfield-ov 38  
 — refleksni 38, 363  
 — teodolitni 40  
 — Wollaston-ov 38  
 gorka jezera 525

gorka so 182, 243, 429, 512, 555  
 — voda 556  
 goslarit 420  
 gradja lupinasta 439  
 — zonarna 439  
 grafit 11, 87, 277, 335, 408, 409, 410, 477, 539, 572, 573, 574, 585  
 grajzen 515  
 gramastereografska projekcija 63  
 granat 95, 240, 246, 248, 263, 294, 370, 376, 380, 398, 572, 573, 577, 578, 580, 583  
 granatoedar 95  
 granična ravnina 320  
 granični kut totalne refleksije 295  
 granit 1, 2, 254, 502, 514, 515, 516, 567, 568, 595  
 granitska lava 254  
 — magma 501, 502, 541, 592  
 granitsko ležište 589  
 granulit 583  
 gromadast 29  
 grosular 571  
 grozdasti agregati 29  
 grupa albit-anortitna 507  
 — atomsko ekvivalentna 407  
 — izomornih elemenata 421  
 — izomornih olivinskih minerala 507  
 — leucit-nefelinska 507  
 — piroksen-amfibolska 507  
 — sodalitna 453  
 — tinjaca 507  
 gusti agregat 29  
 gustina 253  
 gvano 558, 559, 560  
 Haidinger-ova lupa 333  
 hajjin 507  
 hajdingerit 560  
 hajncit 545  
 halkolit 384  
 halkopirit 129, 227, 241, 466, 478, 506, 514, 516, 538, 539, 552, 553, 557, 561, 562, 589, 590, 591, 592, 598  
 halkozin 277, 398, 406, 514, 516, 538, 539, 553, 554, 561, 562, 563  
 haloazit 261  
 haloidne soli 402  
 hanajit 559  
 hanksit 547  
 hausmanit 236, 399  
 Haiy-eva teorija 83  
 Haiy-evo označivanje 51  
 hedenbergit 574  
 heksaedar 42, 51, 94, 109, 150  
 heksagira 54  
 heksagonska bipiramida I. reda 142  
 — II. reda 143  
 — III. reda 152  
 heksagonska deuteropiramida 143  
 — deuteroprizma 146  
 — os simetrije 54  
 — piramida 56  
 heksagonska piramida I. reda 147, 156  
 — piramida II. reda 147, 156  
 — piramida III. reda 156  
 — prizma 56  
 — prizma I. reda 145  
 — prizma II. reda 146  
 — prizma III. reda 153, 156, 160  
 — protopiramida 142  
 — protoprizma 145  
 — tritopiramida 152  
 — tritoprizma 153  
 heksagonski pedion 147, 155, 156  
 — pinakoid 146  
 — skalenoedar 150  
 — trapezoedar 153  
 heksagonski sustav 74, 140, 160  
 — hemiedrija 147, 148, 149, 152, 153  
 — hemimorfija 147, 155, 160  
 — holodrija 141  
 — izračunavanje kristal. formi 160  
 — ogdoedrija 160  
 — optička svojstva 349  
 — stereografska projekcija 147  
 — tertartoedrija 155  
 heksakisoktaedar 42, 77, 98, 116  
 heksakistetraedar 102  
 heksametrijska ploha 82  
 heksasimetrijska ploha 82  
 helij 509  
 hematit 29, 163, 240, 245, 307, 309, 310, 313, 380, 400, 407, 470, 478, 479, 481, 488, 498, 511, 548, 552, 553, 556, 561, 563, 582, 584, 585, 588, 592  
 hematogelit 457  
 hemidome monoklinske 193  
 — triklinske 210  
 hemiedar 74  
 — desni 77  
 — enantimorfni 77  
 — komplementarni 76  
 — kongruentni 76  
 — korelatni 76  
 — lijevi 77  
 — negativni 77  
 — pozitivni 77  
 — sukladni 76  
 hemiedrija heksagonskoga sustava 147, 148, 149, 152, 153  
 — monoklinskoga sustava 195  
 — rompskoga sustava 181  
 — tesimalnoga sustava 100, 103, 106  
 — tetragonskoga sustava 128, 129, 130, 131  
 — triklinskoga sustava 212  
 hemimorfija heksagonska 147, 155, 160  
 — monoklinska 195  
 — rompska 180  
 — tetragonska 133  
 hemimorfit 181, 229  
 hemimorfni likovi 80  
 hemipiramida 192  
 hemiprizma 210  
 hemitropni kristali 229

hepar reakcija 465  
 heterogene otopine 452  
 heterogeni kristal mješanac 439  
 hidatogeni minerali 518  
 hidrargilit 568  
 hidrati 400  
 hidratizacija 564, 567  
 hidroboracit 545  
 hidrocijan 512  
 hidroclinkit 557  
 hidrofilni soli 454  
 hidrofobni soli 454  
 hidrogel 553  
 hidroksidi 400, 564  
 — aluminijski 564  
 hidroksil 400, 582, 583  
 hidrosfera 388  
 hidrosoli 452, 553  
 hidrostatska vaga 256  
 hidrostatski tlak 579  
 hidrotermalni procesi 533  
 hijalini minerali 31  
 hijeratit 513  
 hincit 545  
 hipersten 336, 427, 481, 572  
 hipidiomorfni sastavci 501  
 hipoheksagonski tip 225  
 hipokristaline stijene 503  
 holodard 74  
 holodrija geometrijska 79  
 — heksagonskoga sustava 141  
 — monoklinskoga sustava 191  
 — rompskoga sustava 176  
 — tesimalnoga sustava 93  
 — tetragonskoga sustava 123  
 — triklnskoga sustava 209  
 holokristalina porfirna struktura 503  
 holokristaline porfirne stijene 502  
 Holmquist-ova metoda 271  
 homoaksne pseudomorfoze 587  
 homogen 13  
 homogenost 2  
 — kristala 246  
 hondrodit 387, 573  
 hopeit 557  
 horizontalna disperzija 361  
 hornblenda 18, 513  
 hrizoberil 236, 238, 312, 482  
 Hull-ova metoda 92  
 humboltin 539  
 humit 330, 387, 513, 573  
 Huyghens-ova konstrukcija 289, 290, 292, 295, 320  
 Idealan kristal 19, 36  
 idiohromatski minerali 111  
 idiomorfni sastavci 501  
 igličasta struktura 28  
 igličasti agregat 28  
 — kristali 244  
 ijolit 574  
 ijonti 31, 401, 549, 550

ikozitetradar deltoidski 42, 96, 112  
 — pentagonski 106  
 ilinij 396  
 ilmenit 498, 506, 516, 517, 577, 578, 583  
 impregnaciono ležište 591  
 indeks loma 294  
 indeksi ploha 50  
 indikatori, skala 259  
 indikatriks 295, 325, 327  
 individuum kemijski 425  
 interferencija 286, 307, 346  
 — Röntgenovih zraka 88  
 interferenciona slika 357  
 interferencione boje 347  
 interferencioni prsteni 349  
 intruzija magme 501, 574  
 intruzivna stijena 502  
 iracionalan odnos parametara 45  
 ireverzibilni geli 455  
 iridosmij 451  
 irizacija 307  
 ispunak 586  
 istisci 586  
 istovetne plohe 34  
 istovrsne plohe 34  
 itrij 392, 393  
 izbočine 281  
 izbrusci 343  
 izjedine 57, 79, 279  
 izlučivanje kristala električno 484  
 izlučivanje minerala iz slanih jezera 540  
 — iz vodene otopine 526, 527, 531, 533 539, 540, 546  
 izmjene kemijske 407, 483  
 izodimorfija 443  
 izodimorfna smjesa, dijagram 444, 445  
 izodimorfni minerali 443  
 — niz 443  
 izomorfan 447  
 izomorfija 417  
 izomorfne primjesine 420  
 izomorfne smjese 420  
 — fizička svojstva 431  
 — geometrijska svojstva 429  
 — kemijska svojstva 443  
 — kemijske formule 427  
 izomorfni elementi 421  
 izomorfni minerali 417  
 — niz 418  
 — optička svojstva 433  
 — specifična težina 431  
 — specifični volumen 431  
 izopolimorfni minerali 443  
 iverasti lom 261  
 ivice, vidi bridovi  
 izoterme 373  
 izotipija 450  
 izotipski minerali 450  
 izotropan 14, 30  
 izotropija 30  
 izotropni minerali 289, 345  
 izračunavanje formi heksagonsk. sustava 160  
 — monoklinskoga sustava 195

izračunavanje rompskoga sustava 182  
 — tesimalnoga sustava 109  
 — formi tetrag. sustava 134  
 — triklnskoga sustava 212  
 izvor vode 520  
 — kemijska analiza 520  
 Jadeit 28, 29, 278  
 jakost svijetla 285  
 jantar 539  
 japanski zakon 233  
 jasna kalavost 265  
 jednolomni minerali 292  
 jednoosni minerali 317  
 — u konvergentnom polarizovanom svijetlu 350  
 — u paralelnom polarizovanom svijetlu 349  
 jednostavne forme 35  
 jednostavni elementi simetrije 55  
 — magnetizam 378  
 jednostrani tlak 579  
 jezera borakna 526, 546  
 — gorka 525  
 — natrijska 525, 546  
 — slana 524  
 — sodna 525, 546  
 jezgra Zemljina 388  
 jod 392, 467, 509, 545, 559  
 jodargirit 450  
 jodit 479, 560  
 jodove pare 314  
 juktapozicioni sraslaci 233  
 justirati 38  
 juvelit 539  
 juvenilna voda 518  
 Kadmij 467  
 kakoksen 557  
 kalavac bolonjski 315  
 kalavost 261  
 — jasna 265  
 — nepotpuna 265  
 — ploha 263  
 — prilična 265  
 — pukotina 264  
 — savršena 265  
 — stupanj 263  
 kalcedon 29, 370, 586  
 kalcij 391, 392, 400, 467  
 — spektar 467  
 kalcijnska salitra 560  
 kalcijnski alumosilikati 498  
 — klorid 509  
 — oksid 576  
 kalcijnsko-alkalijski niz stijena 503  
 kalcit 19, 29, 79, 83, 152, 233, 241, 243, 246, 247, 252, 253, 261, 263, 264, 267, 268, 269, 274, 279, 280, 291, 307, 310, 313, 314, 315, 318, 320, 323, 325, 339, 374, 375, 377, 379, 380, 382, 387, 398, 406, 408, 410, 417, 418, 420, 467, 469, 483, 513,

516, 517, 529, 532, 550, 551, 560, 565, 566, 578, 580, 582, 585, 587, 588, 591  
 kalcit alfa 575  
 — dijagram 575  
 — eruptivni 574  
 kaliborit 545  
 kalij 391, 392, 393, 400, 467, 475  
 — spektar 467  
 kalijska salitra 482, 531, 560  
 kalijski alaun 402  
 — jodid 467  
 — klorid 509  
 kalotina 264  
 kamen, mineralni sastavci 501  
 — osnova 503  
 kamena kora 388, 389, 390, 391, 581  
 kamena so 242, 250, 263, 264, 267, 269, 274, 276, 278, 294, 310, 311, 370, 372, 374, 467, 477, 482, 489, 541, 542, 544, 545, 546, 547, 548, 549, 559, 569, 586, 589  
 kamenje vulkansko 25  
 kanadski balzam 302, 344  
 kankrinit 507  
 kaolin 465, 550, 564, 566, 571  
 karakter dvoloma 352, 358  
 karbonati 512, 552, 557, 564  
 karbonatiti 499  
 karbonatizacija 564  
 karbonatske magme 499  
 karbonatsko stijenje 565, 566, 592  
 karlovarski zakon 230  
 karnalit 311, 402, 541, 543, 544, 545  
 karnotit 384  
 kasiterit 128, 468, 478, 479, 514, 516, 586  
 kataforeza 454  
 kataklaza 580, 582  
 katametamorfoza 582  
 katazona 581, 583  
 kationi 549  
 katodne zrake 314  
 kemija mineralna 5, 386  
 kemijska analiza izvor vode 520  
 — Jadranskog Mora 520  
 — kvalitativna 386  
 — kvantitativna 386  
 — morske vode 523  
 — oceana 389  
 kemijska konstitucija 405  
 — struktura 405  
 kemijska svojstva izomorfni smjesa 443  
 kemijske formule 405, 427  
 — izomorfni smjesa 427  
 kemijske izmjene 407, 483  
 — promjene 582  
 — pseudomorfoze 585  
 — sile 489  
 kemijski čista tvar 425  
 — elementi 388  
 — individuum 425  
 — precipitati 569  
 — spojevi 398, 399  
 — talozi 569  
 kemijsko raspadanje minerala 407

kemoluminiscencija 315  
 keramohalit 512, 517  
 kerargirit 479, 560  
 kiselja reakcija 401, 460,  
 — so 401  
 kisele magme 516  
 — stijene 514  
 — stijene eruptivne 392, 503  
 kiselica 573  
 kiselina 401  
 — alumokremična 550, 564  
 — arsenasta 517  
 — arsenaska 315, 554, 560  
 — azotna 461, 464, 560  
 — borna 490, 509, 513  
 — dušična 459, 461, 464, 560  
 — fluorovodična 459  
 — fosforna 557, 567  
 — kremična 468, 490, 498, 499, 507,  
 510, 550  
 — sona 459, 464, 490, 508, 509, 510, 511  
 — sumporasta 490, 508, 509, 512  
 — sumporna 459, 461, 464, 509, 512,  
 517, 553, 555  
 — ugljična 469, 490, 508, 524, 551, 560, 573  
 kisik 391, 490, 524, 552  
 kizerit 403, 490, 541, 545  
 — regija 545  
 kiža 598  
 kiževina 598  
 klastična stijena 570, 576  
 klaustalit 469  
 Klein-ova otopina 256  
 klevejit 384  
 kliftonit 585  
 klješta turmalinska 336, 339  
 klimske prilike 567  
 klinodome 194  
 klinohumit 387  
 klinoos 190  
 klinopinakoid 194  
 klinopiramide 192  
 klinoprizme 192  
 kloantit 554  
 klor 392, 393, 467, 475, 490, 573  
 kloridi 490, 507, 510  
 — aluminijski 509, 511  
 — amonijski 465, 508, 509, 517  
 — kalcijski 509  
 — kalijski 509  
 — magnezijski 509  
 — natrijski 509  
 kloridni minerali 541  
 klorit 251, 277, 370, 385, 513, 514, 566, 572, 582  
 kloritni škrljic 582  
 klorokalcit 511  
 kloromagnezit 511  
 koagulacija 454  
 kobalt 393, 468  
 kobaltin 449, 468, 539  
 kobaltina solucija 464  
 koeficijenti parametara 46  
 kohezija 30, 260  
 Kohlrausch-ov refraktometar 298  
 koloid 32, 566, 571  
 — emulzioni 454  
 — zaštitni 455  
 koloidna otopina 31, 32, 452  
 koloidni minerali 452  
 kolumbit 421, 515, 516  
 kombinacija 35  
 komplementarni hemiedri 76  
 komplikacija 65  
 — zakon 65  
 kondenzor 343  
 konglomerat 570  
 kongruentni hemiedri 76  
 konična refrakcija 356  
 konkrecija 591  
 konkreciona ležišta 591  
 konoskop 343  
 konstitucija kemijska 405  
 konstituciona voda 404  
 konstrukcija Huyghens-ova 289, 290, 292,  
 295, 320  
 kontaktna ležišta 574  
 kontaktna metamorfoza 571, 580  
 — apomagmatska 574  
 — endogena 574  
 — eksogena 573  
 — perimagmatska 573  
 kontaktne stijene 583  
 kontaktni goniometar 37  
 — minerali 574  
 konvergentno polarizovano svijetlo 343  
 kora kamena 388, 389, 391, 581  
 kordijerit 228, 329, 385, 572, 583  
 korelatni hemiedri 76  
 korodirani minerali 504  
 korozija magmatska 495  
 korund 173, 174, 246, 266, 311, 479, 481  
 482, 572  
 kositer 372, 383, 393, 468  
 kositerni fluorid 315  
 koso potamnjenje 359  
 — kut 360  
 kotunit 511  
 kovelin 398, 406, 511, 512, 514, 553, 554,  
 561, 562, 563  
 kovinski oksidi 490  
 kovki minerali 277  
 kraj petrografske 503  
 kraurit 557  
 krečnjak 1, 2, 24, 28, 261, 534, 550, 556,  
 557, 565, 566, 573, 577, 579, 592  
 — eruptivan 499  
 krečnjačke stijene 533, 563  
 kremen 2, 19, 32, 56, 80, 158, 161, 162, 164,  
 241, 245, 246, 251, 252, 261, 263, 271,  
 275, 276, 277, 281, 282, 291, 307, 309,  
 310, 311, 313, 315, 321, 324, 325, 365,  
 366, 370, 372, 374, 376, 377, 380, 400,  
 455, 468, 479, 481, 485, 491, 502, 506,  
 507, 515, 516, 517, 532, 534, 541, 545,  
 551, 552, 566, 571, 572, 578, 579, 580,  
 582, 583, 586, 588, 589, 590, 591, 592

kremena cjedina 371, 526  
 kremeni filit 582  
 — lapor 534  
 kremenovac 515  
 kremerzit 510  
 kremična kiselina 468, 490, 498, 499, 507,  
 510, 550, 569, 570, 579  
 krijolit 516  
 kriptohalit 512  
 kriptokristalasti agregat 29  
 kristal 13, 15  
 — deformacija 266  
 — električno izlučivanje 484  
 — elementi 34  
 — hemitropni 229  
 — heterogeni mješanac 439  
 — homogenost 246  
 — idealan 19, 36  
 — igličasti 244  
 — kuglasti 244  
 — lebdeći 18  
 — lice 244  
 — lupinasti 248  
 — meroedrijski 244  
 — mimetski 237  
 — mješanac 420, 437  
 — negativni 292  
 — prirasli 19  
 — prizmatski 244  
 — projiciranje 60  
 — prutičasti 244  
 — pseudoheksagonski 228  
 — pseudomonoklinski 228  
 — pseudoteseralni 228  
 — pseudotetragonski 228  
 — pseudozasebni 236  
 — rastežni 36  
 — razvučeni 36  
 — rešetkasti 22  
 — simetrija 51  
 — slobodni 17  
 — snježni 18, 22  
 — struktura 83  
 — stubasti 244  
 — tekuci 15, 16  
 — urasli 17  
 — vanjšina 242  
 — veličina 24  
 — vlasasti 244  
 — zameci 13  
 — zasebni 228  
 — zonarni 248  
 kristalasti agregat 28, 369, 575, 586  
 — mineral 28  
 — škrljici 506, 565, 574, 578, 580, 581  
 kristaliti 12  
 kristalizacija 9, 11  
 — dijagram 436, 437  
 — eutektička 437  
 — frakcionirana 439, 505  
 — magme 491  
 — sijed 498  
 — tok 436  
 kristalizaciona diferencijacija magme 504  
 — Weimarn-ova teorija 455  
 kristalizovani mineral 27, 254  
 — pješčenjak 252  
 kristalna druzna 26, 27, 591  
 — geometrija 33  
 — optika 283  
 — os 43, 71  
 — voda 403  
 — zadruga 26, 27, 591  
 kristalne forme, prelaz jednih u druge 226  
 — klase 71  
 — klice 13  
 — osi 42  
 — plohe broj 66  
 — skeleti 21,  
 — slike 59  
 kristalni modeli 59  
 — razredi 71  
 — razredi pregled 226  
 — sustavi 73, 93  
 — sustavi, pregled 226  
 — zameci 13  
 kristalognozija 33  
 kristalografija 4, 33  
 — fizička 34  
 — geometrijska 34  
 — matematička 34  
 kristaloid 32, 566, 571  
 kristaloidna otopina 32, 453  
 kristaloluminiscencija 315  
 kristobalit 378, 411, 572  
 krivulja elastičnosti 277  
 — likvidus 438  
 — solidus 438  
 — tvrdine 272  
 krom 393, 468  
 kromit 468, 481, 506, 592  
 krst 350, 357, 360, 370  
 krš 565  
 krti minerali 277  
 krug glavni 61  
 krupnozrnasta struktura 500  
 kružna polarizacija 288, 365  
 krvno srodstvo stijena 504  
 ksenomorfnost sastavci 501  
 ksenotim 384  
 kugla, valovna ploha 289, 318, 324, 334  
 kuglaste forme 30  
 kuglasti agregati 29  
 — kristali 244  
 kukasti lom 261  
 kumuliti 11  
 Kundt-ova metoda 382  
 kuprit 56, 107, 309, 399, 400, 484, 554, 562,  
 585, 592  
 kut (ugao) bridni 36  
 — devijacije 303  
 — granični totalne refleksije 295  
 — kosoga potamnjenja 360  
 — odraza 291  
 — optičkih osi 327, 357, 358, 362, 363, 837  
 — osni 43

kut plošni 36, 374  
 — polarizacije 306  
 — prividni 363  
 — sraza 291  
 — stalnost 35  
 — zbiljski 363  
 kvadratični sustav 122  
 kvalitativna kemijska analiza 386  
 kvantitativna kemijska analiza 386  
 kvarc, vidi kremen  
 kvarcit 570, 572, 592  
 — milovkin 582  
 — sericitni 582

Labrador 481  
 labradorit 312, 491, 499  
 žagonit 513  
 lamele sraslačke 234  
 langbajnit 545  
 lantan 392  
 lapor 570  
 — kremeni 534  
 larderelit 513  
 lateralna sekrecija 533, 590  
 laterit 567  
 Laue-ova metoda 89  
 laurionit 560  
 lava 17, 30, 490, 572  
 — Auvergne 511  
 — bazaltna 572  
 — Etne 491, 511  
 — granitska 254  
 — recentna 508  
 — santorinska 498, 510  
 — sastav 508  
 — vezuvska 491, 510, 511

lebdeći kristali 18  
 led 25, 266, 451, 492  
 ledenjaci 267  
 legure 425  
 lelingit 539  
 lemniskate 357, 360  
 leonit 545  
 lepidometan 507  
 leucit 237, 251, 252, 377, 379, 409, 480, 481,  
 491, 507, 510, 513  
 leucitoedar 237  
 leveit 545  
 Lévy-evo označivanje 51  
 Ježišta granitska 589  
 — impregnaciona 591  
 — konkretna 591  
 — kontaktna 574  
 — metasomatska 591  
 — mineralna 5  
 — rudna 574  
 — soli 544  
 — sumpora 510, 537

libela 250  
 libetenit 557  
 lice kristala 244  
 lijevi likovi 77

lijevi hemiedri 77  
 likovi desni 77  
 — enantiomorfni 77  
 — hemimorfni 80  
 — lijevi 77  
 — polarno gradjeni 80  
 — pseudosimetrijski 231

likvacija magme 504  
 likvidus krivulja 438  
 limonit 313, 380, 457, 469, 532, 534, 539,  
 548, 552, 553, 555, 556, 561, 563,  
 586, 587, 588, 591, 592

linija Becke-ova 301  
 linearna projekcija 62  
 linearno polarizovano svjetlo 284  
 liofilni soli 454  
 liofobni soli 454  
 liparit 25, 254, 502  
 liskun, vidi tinjac  
 lisnata struktura 28  
 lisnati agregat 28  
 lišaji 563  
 litij 392, 393, 468, 475, 545,  
 — spektar 468  
 litionit 468, 507  
 litosfera 388  
 livadna ruda 534  
 lom eksponent 294, 306, 326, 327  
 — glatki 261  
 — indeks 294  
 — iverasti 261  
 — ljušturasti 261  
 — minerala 260  
 — neravni 261  
 — ravni 261  
 — svijetla 305  
 — školjkasti 261  
 — zemljasti 261  
 — zrake 292

lomni minerali 277  
 longuliti 12  
 lučenje lupinasto 252, 266  
 luksuljanit 516  
 luminiscencija 314  
 lupa dihoskopska 333  
 — Haidinger-ova 333  
 lupina kamena 388,  
 — vodena 388  
 — uzdušna 388  
 lupinasta gradja 439  
 lupinasti kristali 248  
 lupinasto lučenje 252, 266  
 lupinasto trakasta struktura 29

Ljestvica tvrdine Mohs-ova 270  
 ljuskava struktura 28  
 ljušturasti lom 261

Magma 18, 30, 490, 507, 571, 573, 574, 591, 592  
 — aciditet 498  
 — asimilacija 504, 505

— bazaltna 498, 506, 573  
 — bazicitet 498  
 — bazična 516  
 — dacitna 506  
 — diferencijacija 504, 505  
 — difuzija 504  
 — efuzija 501, 572  
 — frakcionirana kristalizacija 505  
 — granitska 501, 502, 541, 592  
 — intruzija 501, 574  
 — karbonatska 499  
 — kisela 516  
 — kristalizacija 491  
 — kristalizaciona diferencijacija 504  
 — likvacija 504  
 — viskozitet 497

magmatička diferencijacija 504  
 — korozija 495  
 — resorpcija 495

magnetička svojstva 378  
 magnetičko odjeljivanje 379  
 magnetit 22, 94, 278, 313, 378, 379, 400, 481,  
 498, 501, 502, 506, 511, 539, 563, 573,  
 582, 583, 585, 587, 592

magnetizam jednostavni 378  
 — polarni 379

magnezij 391, 392, 393, 400, 468, 475  
 magnezijaska salitra 560  
 magnezijaski klorid 509  
 — silikati 498

magnezijsko-kalcijski silikati 498  
 magnezioferit 511  
 magnezit 417, 418, 420, 468, 485, 530, 556  
 mahovine 529, 563,  
 makrodijagonala 176  
 makrodome rompske 179  
 — triklinske 210

makroos 176, 209  
 makropinakoid rompski 179,  
 — triklinski 211  
 makropiramida rompska 178  
 — triklinska 210

makropризma rompska 178  
 — triklinska 210

maksimalna polarizacija 306  
 malahit 312, 313, 483, 553, 557, 585, 590  
 mandule 29  
 manebaški zakon 230  
 mangan 392, 393, 468  
 manganit 313  
 manganozit 399  
 margariti 12  
 markazit 241, 405, 408, 409, 489, 537, 538,  
 539, 552  
 marmoriziranje 575  
 martinit 559  
 maskanjin 512, 517, 558  
 masna sjajnost 265, 309  
 matematička kristalografija 34  
 materija, kristalizaciono stanje 455  
 matlokit 511  
 mazurij 396  
 mehaničke deformacije 582

— apomagmatska kontaktna 574  
 — distokaciona 581  
 — eksogena kontaktna 573  
 — endogena kontaktna 574  
 — kontaktna 571, 580  
 — perimagmatska kontaktna 574  
 — regionalna 581  
 — sekularna 571

metasilikati 498  
 metasomatoza 556, 591  
 metasomatska ležišta 591  
 meteoriti 585  
 meteorno željezo 282  
 metilenski jodid 256  
 metoda Becke-ova 301  
 — brušenja Rosiwal-ova 270  
 — Debye-va 92  
 — Chaulnes-ova 304  
 — Holmquist-ova 271  
 — Hull-ova 92  
 — Kundt-ova 382  
 — Laue-ova 89  
 — Scherrer-ova 92  
 — Schröder van der Kolk-ova 301  
 — Sénarmont-ova 373  
 — uronjavanja 301

mezometamorfoza 582  
 mezozona 581, 582  
 mikašist 581  
 mikrokemijske reakcije 470  
 mikroklin 228, 238, 481, 507, 516, 566, 582  
 mikroliti 25, 252  
 mikropertit 583  
 mikroskop polarizacioni 342  
 mikroskopski preparati 344  
 milerit 245  
 Miller-ovo označivanje 50  
 milonit 582  
 milovka 277, 385, 571, 582  
 milovkin kvarcit 582  
 mimetezit 421  
 mimetski kristali 237  
 — sraslaci 369  
 mimeza 237  
 mineral 3  
 — alohromatski 311  
 — amorfni 29, 30, 254, 452

mineral anizotropni 315, 317, 345  
 — atermanski 372  
 — atraktivni 324  
 — bezbojni 310  
 — bojadísani 310, 555  
 — brušenje 343  
 — deformacija 278  
 — dijamagnetični 379  
 — dijamagnetski 372  
 — dimorfni 411  
 — dvojomni 315  
 — dvoosni 317, 326, 355  
 — elastični 275  
 — električna svojstva 380  
 — enantiomorfni 364, 380  
 — enantiotropni 409  
 — fitogeni 537  
 — hidatogeni 518  
 — hijalini 31  
 — idiohromatski 311  
 — izlučivanje iz slanih jezera 540  
 — iz vodene otopine 526, 527, 531,  
 533, 539, 540, 546  
 — izodimorfni 443  
 — izomorfni 417  
 — izopolimorfni 443  
 — izotipski 450  
 — izotropni 289, 345  
 — jednolomni 292  
 — jednoosni 317  
 — kemijsko raspadanje 407  
 — kloridni 541  
 — kontaktni 574  
 — korodirani 504  
 — kovki 277  
 — kristalasti 28,  
 kristalizovani 27, 254  
 — krti 277  
 — lom 260  
 — lomni 277  
 — luminescencija 314  
 — meki 277  
 — monotropni 409  
 — neprozirni 309, 310  
 — određivanje puhaljkom (duvaljkom)  
 462  
 — opaki 309, 310  
 — optička svojstva 283  
 — optički dvoosni 326  
 — optički jednoosni 323  
 — optički negativni 323, 328  
 — optički pozitivni 323, 324, 328  
 — organogeni 536  
 — otapanje 278  
 — paramagnetički 379  
 — pirogenetski 490  
 — pirogeni 506  
 — pneumatogeni 507, 513  
 — podatni 277  
 — pojavljivanje 589  
 — polimorfni 408, 411  
 — porodini 32  
 — postajanje 487

mineral pratioci 514, 515  
 — preobražavanje 547  
 — primarni 589  
 — prozirni 310  
 — pseudoheksagonski 225, 228  
 — pseudomonoklinski 228  
 — pseudorompski 228  
 — pseudoteseralni 225, 228  
 — pseudotetragonski 228  
 — rastezanje 374  
 — rastezljivi 278  
 — rastvaranje 571  
 — repulzivni 323, 324  
 — resorbirani 504  
 — savitljivi 277  
 — sintetički 4, 476  
 — sulfatni 541  
 — svjetljenje 314  
 — tekući 3  
 — termička svojstva 372  
 — termometamorfni 572  
 — titanski 392  
 — topljivost 459, 519  
 — trimorfni 411  
 — trošenje 564  
 — uranski 515  
 — vještački 476  
 — zoogeni 537  
 — žilavi 278  
 mineralna fizika 5, 253  
 — kemija 5, 386  
 — ležišta 5  
 mineralne promjene 582  
 — vode 520  
 — žice 590  
 — žile 590  
 mineralni podstrekači 479, 481, 498, 517  
 — sastav morske vode 523  
 — sastavci eruptivnih stijena 507  
 — sastavci kamena 501  
 mineralno ležište 589  
 — primarno 589  
 — sekundarno 589  
 mineralogija 4  
 — ekonomska 5, 593  
 — opća 5, 7  
 — specijalna 5  
 minerogenija 5, 487  
 minij 382  
 minimum devijacije 303  
 mirabilit 196, 197  
 miris 385  
 mješanac kristal heterogeni 439  
 mješanci kristali 420, 437  
 — sa maksimumom 441  
 — sa minimumom 441  
 mnogostruki sraslaci 234  
 močvarna ruda 534  
 modeli kristalni 59  
 modifikacija polimorfna 377  
 modra galica 403 482, 531  
 mofete 508  
 moguća ploha 24

Mohr-ova vaga 257  
 mol 542  
 mo'écules intégrantés 84  
 molekularna mreža 85  
 — promjena 584  
 molekularne smjese 452  
 molekularni pravci 85  
 — premještaj 585  
 — spojevi 402  
 — volumen 259, 578  
 molekule 549  
 — premještaj 580  
 — sastavljacice 84  
 molibden 393, 468  
 molibdenit 468  
 molibdenski sjajnik 515, 592  
 molizit 510  
 monacit 330, 384, 516  
 monohromatsko svjetlo 285, 347  
 monoklinske dome 193  
 — piramide 192  
 — prizme 192  
 monoklinski pedioni 195  
 — pinakoidi 194  
 monoklinski sustav 74, 190  
 — hemiedrija 195  
 — hemimorfija 195  
 — holodrija 191  
 — izračunavanje formi 195  
 — optička svojstva 359  
 — stereogr.projekcija 194  
 monosimetrijska ploha 82  
 monotropni minerali 409  
 monticelit 480, 573  
 morfologija 4, 9  
 morfotropija 448  
 morfotropske promjene 448  
 morska pjena, vidi stiva  
 — voda 520, 523  
 morska voda, kemijska analiza 523  
 — kristalizacija minerala 541  
 — radioaktivnost 524  
 mramor 275, 315, 573, 579  
 mreža atomska 86  
 — molekularna 85  
 — prostorna 85, 86  
 mrežasta ravnina 85  
 mulj 591  
 muskovit 281, 485, 507, 515, 566, 570, 572,  
 589, 583, 589  
 Nadjagit 469, 470  
 nafta 538  
 nagnuta disperzija optičkih osi 360  
 napetost unutrašnja 371  
 natrij 391, 392, 393, 400, 468, 476  
 — spektar 468  
 natrijska jezera 525, 546  
 — izlučivanje minerala 546  
 natrijska salitra 467, 482, 559  
 natrijski klorid 509  
 natrolit 376

Naumann-ovo označivanje 49  
 nefelin 156, 241, 281, 481, 486, 507, 589  
 nefrit 28, 29, 278  
 negativni hemiedri 77  
 — kristali 292  
 — minerali 323, 328, 573  
 nepotpuna kalavost 265  
 neprozirni minerali 309, 310  
 neravni lom 261  
 Nernst-ova pravila 540  
 neutralna so 401  
 neutralne eruptivne stijene 503  
 Newton-ove boje 349  
 Newton-ovi interferencioni prsteni 349  
 Nicol-ova prizma 316, 339  
 nijob 393  
 nijobit 384  
 nikalj 392, 393, 468  
 nikelin 450, 468, 539  
 nikel 339  
 — paralelni 340, 343  
 — unakršteni 340, 343, 345  
 nizovi izomorfni 418  
 nocerin 513  
 normala optička 328  
 nozean 507  
 Njuberijit 559  
 Obično svjetlo 284  
 Obim minerala, umanjanje 374  
 — uvećavanje 374  
 obojenje alohromatsko 453  
 ocean 389  
 odjeljivanje magnetičko 379  
 odnos osi 44  
 odnos parametara 44  
 — iracionalan 45  
 — racionalan 46  
 odraz svjetla 290  
 — kut 291  
 — potpuni 295  
 određivanje dvošloma 352, 354, 358, 361, 362  
 — eksponenta loma 297, 303,  
 326, 332  
 — minerala puhaljkom (duvalj-  
 kom) 462  
 ogdoedar 75, 80  
 ogdoedrija 160  
 ogib svjetla 309  
 ogreb 313  
 ogrebina 274  
 okamine 588  
 okorine 586  
 oksalit 539  
 oksamit 558  
 oksid 400, 498, 507, 511, 564  
 — kalcijski 576  
 — kovinski 490  
 oksidacija 400, 562, 564, 567, 582  
 oksidaciona zona 552, 553, 561, 563  
 oksidacioni plamen 464

- oksisoli 402  
 oktaedar 23, 42, 49, 75, 94, 109  
 okus 385  
 oldamit 481  
 oleat amonijski 16  
 oligoklas 481, 499, 517, 580, 583  
 olivin 241, 330, 379, 380, 450, 468, 480, 481, 482, 491, 513, 555, 571, 577, 578, 586, 587, 589  
 olivinske stijene 506  
 olovo 372, 383, 393, 394, 468, 476, 597, 600, 601  
 ooliti 29  
 opaki minerali 309, 310  
 opal 32, 309, 312, 371, 534, 552, 588  
 opalescencija 453  
 opća mineralogija 5, 7  
 opip 385  
 opsidijan 22, 25, 31, 254  
 optička normala 328  
 — os 317, 318, 326  
 — ploha indeksa 295, 325, 327  
 — svojstva izomorfni smjesa 433  
 — svojstva minerala 283  
 — svojstva minerala amorfni 289, 317  
 — anizotropnih 317  
 — heksagonskih 317  
 — izotropnih 317  
 — monoklinskih 330, 356  
 — rompskih 328, 356  
 — tesimalnih 289, 317  
 — tetragonskih 317  
 — triklinških 332, 361  
 optičke anomalije 370, 582  
 optičke osi 317, 326  
 — disperzija, asimetrijska 361  
 — disperzija horizontalna 361  
 — disperzija nagnuta 360  
 — disperzija simetrijska 358  
 — disperzija unakrštena 361  
 — kut 327, 357, 358, 362, 378  
 — ravnina 328  
 optički dvoosni minerali 336  
 — jednoosni minerali 323  
 optika kristalna 283  
 oranžit 384  
 organogeni minerali 536  
 ordinarna zraka 315, 317  
 — eksponent loma 323  
 orijentirani prerezi 344  
 ortodome 193  
 ortoklas 195, 228, 230, 237, 241, 265, 330, 333, 376, 439, 481, 499, 502, 507, 516, 566, 580, 583, 586  
 ortoos 190  
 ortopinakoid 194  
 ortopiramida 192  
 ortoprizma 192  
 ortosilikati 498  
 os digonska 53  
 — glavna 122, 140, 176, 190, 209  
 — kristalna 43  
 — okretaj 299  
 — optička 317, 326  
 os simetrije 53  
 — sraslačka 229  
 — topska 259  
 — zone 41  
 osna ravnina 43  
 osni kutovi (uglovi) 43  
 — odnos 44  
 osnova kamena 503  
 — staklasta 503  
 osnovna forma 45  
 osnovni bridovi (ivice) 124  
 osnovni pinakoid 70  
 — heksagonski 146  
 — monoklinski 194  
 — rompski 179  
 — tetragonski 127  
 — triklinški 211  
 oštra bisektriks 327  
 — raspolovnica 327  
 otapanje minerala 278, 518  
 otenit 228, 384  
 otopina čvrsta 425, 426  
 — heterogena 452  
 — Klejn-ova 256  
 — koloidna 31, 32, 452  
 — kristaloidna 32, 452  
 — Retjers-ova 256  
 — Rohrbach-ova 256  
 — plinovita 489  
 — prezasićena 23, 51, 560  
 — taljevinska 489  
 — Thoulet-ova 256  
 — vodena 482, 489  
 — zasićena 377, 560  
 otrelit 249  
 otvorena forma 35  
 ovršni bridovi (ivice) 124  
 označavanje Haüy-evo 51  
 — Lévy-evo 51  
 — Miller-ovo 50  
 — Naumann-ovo 49  
 — Weiss-ovo 48  
 Pacifička svojta stijena 504  
 paleozojski škriljci 595  
 parageneza 488  
 paragonit 570  
 paralelepiped elementarni 85, 448  
 paralelni nikoli 340, 343  
 paralelno polarizovano svjetlo 343, 345, 356  
 — potamnjenje 349, 351  
 — sraštenje 239  
 paramagnetični minerali 379  
 parametri 44  
 — koeficijenti 46  
 — odnos 44  
 — odnos iracionalan 45  
 — racionalan 46  
 — topski 259, 448  
 paramorfoza 585  
 pare 477, 490, 507, 508, 573  
 — jodove 314

- pare vodene 498  
 pedion 129, 133, 147, 155, 156  
 pegmatitne žile 516  
 penetracioni sraslaci 233  
 Penfield-ov goniometar 38  
 pentagonska hemiedrija 103  
 pentagonski dodekaedar 104  
 — ikozitetraedar 106  
 peptizacija 455  
 peridotit 506, 589, 592  
 periklas 479, 511, 574  
 periodički sistem, tablica 395  
 perla 464  
 perovskit 481  
 perspektivna projekcija 59  
 pertit 439  
 petrografija 283  
 petrografska provincija 503  
 petrografska kraj 503  
 petrolej 314, 538  
 petrolejska ležišta 518  
 piezoelektriciteta 380  
 pigment 311  
 pljača voda 520  
 pijesak 591  
 piknometar 254  
 — Bošnjakovičev 255  
 pikromerit 512, 545  
 pinakoid 68  
 — bazni 70, 140  
 — heksagonski 146  
 — monoklinski 194  
 — osnovni 70  
 — poprečni 70  
 — rompski 179  
 — tetragonski 127  
 — triklinški 211  
 — uzdužni 70  
 pinakoidske plohe 68  
 pinoit 545  
 piramida 49, 97  
 — četvrtine 210  
 — dikeksagonska 147  
 — ditetragonska 129  
 — ditrigonska 155  
 — heksagonska I. reda 147, 156  
 — — II. reda 147, 156  
 — — III. reda 156  
 — monoklinska 192  
 — prirasla 249, 371  
 — rompska 177  
 — tetragonska I. reda 129, 133  
 — — II. reda 129, 133  
 — — III. reda 133  
 — trigonska 155, 160  
 — triklinška 210  
 piramidska hemiedrija 130, 152  
 piramidska ploha 67  
 pirargirit 478, 585  
 pirit 17, 20, 58, 105, 241, 242, 243, 261, 309, 310, 313, 380, 386, 398, 405, 406, 408, 409, 417, 449, 469, 478, 489, 498, 513, 514, 515, 537, 538, 545, 552, 555, 561, 562, 563, 572, 573, 584, 585, 586, 587, 588, 589, 590, 591, 592, 595  
 piritoedar 105  
 piroelektriciteta 380  
 pirogenetski minerali 490, 506  
 piroksen 205, 207, 237, 265, 555, 571, 572, 589  
 piroksenski gnajs 581  
 piroluzit 539  
 piromorfit 421, 485, 557  
 piromosfera 388  
 pirotin 378, 481, 517, 539, 562, 572, 573  
 pistacit 570  
 pitka voda 520  
 pizoliti 29  
 pješčenjak 570, 572  
 — kristalizovani 252  
 plagiedrijska hemiedrija 106  
 plagioklas 18, 56, 235, 245, 246, 248, 252, 265, 435, 440, 442, 514, 580, 583, 587  
 — hiperstenski rožnjak 572  
 — diopsidski rožnjak 572  
 plamen 463  
 — bojadisanje 465  
 — oksidacioni 464,  
 — redukcionni 464  
 platina 372, 379, 383, 393, 400  
 platoniska tijela 48  
 pleohroitski dvor 385  
 — minerali 334  
 pleohroizam 334  
 plinovi 477, 490, 507, 508, 509, 573  
 — zemni 518  
 plinovite otopine 489  
 pločasti agregati 29  
 — kristal 245  
 pločica turmalinska 305, 316, 337  
 ploha (pljosan) 34  
 — apsorpciona 335  
 — asimetrijska 82  
 — broj 35  
 — dimetrijska 82  
 — disimetrijska 82  
 — heksametrijska 82  
 — heksasimetrijska 82  
 — indeks 50,  
 — iste vrste 34  
 — istovetna 34  
 — kalavosti 263  
 — moguća 24  
 — monosimetrijska 82  
 — optička indeksa 295, 325, 327  
 — pinakoidska 68  
 — piramidska 67  
 — pol 60  
 — prerोजना 282  
 — prizmatska 67  
 — puzanja 266  
 — sedlasta 246  
 — simbol 48  
 — tautozonalna 41  
 — translaciona 266  
 — trimetrijska 82

- ploha trisimetrijska 82  
 — valovna 289, 319, 322, 324, 327  
 — vicinalna 46, 246  
 — znak 48  
 — zrake 290
- plošni kutovi (uglovi) 36, 374
- plovuđac 31
- plutonske ekshalacije 508, 514
- pljosan, vidi ploha
- pneumatogeni minerali 507, 513
- pneumatolitski procesi 513, 574
- pneumatoliza 513
- podatni minerali 277
- podstrekači mineralni 479, 481, 498, 517
- podzemnica voda 522
- pojavljivanje minerala 589
- pokusi van't Hoff-ovi 541
- pol analogni 381  
 — antilogni 381
- polarizacija 305  
 — agregatna 370  
 — cirkularna 288, 365  
 — eliptična 289  
 — kružna 288, 365  
 — kut 306  
 — maksimalna 306  
 — ravnina 284, 306, 364  
 — u izbruscima 367  
 — vještačka 368
- polarizaciona ravnina 284
- polarizacione boje 347  
 — sprave 336
- polarizacioni aparat Adams-ov 364  
 — — Schneider-ov 364  
 — — mikroskop 342
- polarizator 342
- polarizovano svjetlo 284  
 — — konvergentno 343  
 — — linearno 284
- polarni magnetizam 379
- polarno gradjeni likovi 80
- polihalit 544
- polijanit 136
- polimorfija 408
- polimorfni minerali 408, 411
- polimorfne modifikacije 377,  
 — — tablica 412
- polisintetski sraslaci 235, 369
- položena prizma 67
- poludome rompske 193,  
 — — triklinske 210
- polupiramide 192
- poluprizme 210
- pomraćenje minerala 339, 346
- ponašanje minerala med unakrštenim niko-  
 — — lima 345  
 — — amorfni 345  
 — — heksagonskih 349  
 — — monoklinskih 359  
 — — rompskih 356  
 — — teseralnih 345  
 — — tetragonskih 349  
 — — triklinskih 361
- poprečna doma 69
- porfirit 587
- porfirna struktura 503  
 — — holokristalina 503  
 — — stijena 502
- postajanje minerala 5, 487
- potamnjenje 338  
 — — koso 559  
 — — paralelno 349, 351
- potočna voda 522
- potpuni odraz svijetla 295
- povratni sraslaci 235
- površina kristalnih ploha 245
- pozitivni hemiedar 77  
 — — minerali 323, 324, 328, 583
- požar ugljenika 517
- pravac molekularni 85  
 — — simetrije 81
- pravila Nernst-ova 510  
 — — Rosenbusch-ova 498  
 — — zonalna 64, 65
- pravilno sraštenje 240
- precipitati kemijski 569
- precipitativne stijene 569
- pregled kristalnih razreda 226  
 — — kristalnih sustava 226
- prekristalizacija 572, 577, 582
- prelijevanje boja 312
- premještaj molekula 580  
 — — molekularni 585
- preobražavanje minerala 547  
 — — sekularno 571
- preparati mikroskopski 344
- prerez glavni 320
- prerez okomit na optičku os 349, 350, 356,  
 — — okomit na oštru raspolovnicu 357,  
 — — 360, 362  
 — — okomit na tupu raspolovnicu 363  
 — — orijentirani 344  
 — — paralelan sa optičkom osi 349
- preroziona plohe 282
- pretvorine 586
- prezasićena otopina 23, 51, 560
- prilična kalavost 265
- primarni minerali 589
- primarno mineralno ležište 589
- primjesine izomorfine 420
- priraslaci 233
- prirasle piramide 249, 371
- prirasli kristali 19, 591
- prividni kut (ugao) 363
- prizma 67  
 — — diheksagonska 146  
 — — ditetragonska 126  
 — — ditrigonska 148, 155, 158  
 — — heksagonska I. reda 145  
 — — — II. reda 146  
 — — — III. reda 156  
 — — monoklinska 192  
 — — Nicol-ova 316, 339  
 — — položena 67  
 — — pseudoheksagonska 238  
 — — rompska 178

- prizma tetragonska I. reda 126  
 — — — II. reda 126  
 — — — III. reda 131, 133  
 — — trigonska 148, 155, 156, 158  
 — — triklinska 210  
 — — vertikalna 67
- prizmatske plohe 67
- prizmatski kristali 244
- prodorni sraslaci 233
- projekcija gnomonska 62  
 — — gramastereografska 63  
 — — heksagonskoga sustava 147  
 — — linearna 62  
 — — monoklinskoga sustava 194  
 — — rompskoga sustava 180  
 — — sferna 60  
 — — stereografska 62  
 — — teseralnoga sustava 98  
 — — tetragonskoga sustava 127  
 — — triklinskoga sustava 212
- projekciona ravnina 61
- projiciranje kristala 60
- prolektit 388
- promjene kemijske 582  
 — — mehaničke 589  
 — — mineralne 582  
 — — molekularne 584  
 — — morfotropske 448  
 — — topotropске 449
- propast stijena 564
- propilitizacija 513  
 — — propilitizovane stijene 514
- prostorna mreža 85, 86
- protopiramida heksagonska 142  
 — — tetragonska 124
- protoprizma heksagonska 145  
 — — tetragonska 126
- provincija petrografska 503
- prsteni interferenciji 349
- prstenasti sraslaci 235
- prustit 402, 585
- prutičasti agregat 28  
 — — kristali 244  
 — — struktura 28
- pseudoheksagonska prizma 238
- pseudoheksagonski kristali 228  
 — — minerali 225
- pseudoholoedar 76, 103, 231
- pseudomonoklinski kristali 228
- pseudomorfoza 534,  
 — — fizička 585  
 — — homoakna 587  
 — — kemijska 585  
 — — razvitak 587
- pseudooktaedar 103
- pseudorompski kristali 228
- pseudosimetrija 227
- pseudosimetrijske forme 227
- pseudosimetrijski likovi 231, 236
- pseudoteseralni kristali 228  
 — — minerali 225
- pseudotetragonski kristali 228
- pseudozasebni kristali 236
- psilomelan 32, 457, 468, 591, 592
- puhaljka 462
- pukotina kalavosti 264
- puzanje 266  
 — — ploha 266
- puževi 588
- Racionalan odnos parametara 46
- racionalne formule 405
- radij 524
- radioaktivni elementi, raspadanje 384
- radioaktivnost 383  
 — — morske vode 524
- radijske zrake 314
- radikali 420
- raspadanje kemijsko minerala 407  
 — — radioaktivnih elemenata 384  
 — — tora 383  
 — — urana 383
- raspolovnica druga 327  
 — — prva 327  
 — — oštra 327  
 — — tupa 327
- rasprostiranje topline 373
- rasprostranjenost minerala 589, 591
- rastanje kristala 16  
 — — smjer 36
- rastezanje minerala 374
- rastezljivi minerali 278
- rastvaranje minerala 571
- ravni lom 261
- ravnina ekvatorijalna 61  
 — — granična 320  
 — — mrežasta 85  
 — — okretaja 55  
 — — optičkih osi 328  
 — — polarizacije 284, 306  
 — — polarizacije, zakretanje 364  
 — — simetrije 52  
 — — simetrije glavna 94  
 — — simetrije sporedna 94  
 — — sraslačka 229  
 — — sraštenja 233  
 — — sraza 291  
 — — zone 41  
 — — zrcalna 52, 229
- ravnoteža 547
- razredi kristalni 71
- razvučeni kristal 20, 36
- reakcija alkalijska 460, 466  
 — — bazična 401  
 — — elemenata 465  
 — — hepar 465  
 — — kisela 401, 460  
 — — mikrokemijska 470
- reakcije kemijske medjusobne 531
- realgar 312, 313, 477, 484, 512, 527, 554
- recentna lava 508
- redni broj elemenata 396
- redovna zraka 315
- redukcija 562, 572
- redukcioni plamen 464

refleksija svijetla 290, 305  
 — totalna 295  
 refleksijski goniometar 38, 363  
 refrakcija konična 356  
 refraktometar 297  
 — Abbe-Czapskoga 299  
 — Kohlrausch-ov 298  
 — Wollaston-ov 299  
 regija anhidrita 544  
 — kainita 545  
 — karnalita 545  
 — kizerita 545  
 — polihalita 544  
 regionalna metamorfoza 581  
 renij 396  
 renit 507  
 repulzivni minerali 323, 324  
 resorpcija 439  
 — magmatska 495  
 rešetkasti kristali 22  
 Retjers-ova otopina 256  
 reverzibilni geli 455  
 ribekit 499  
 Riecke-ov princip 580, 582  
 riječna voda 522  
 — kemijska analiza 523  
 rodohrozit 417, 418, 420, 485, 530, 556  
 rodonit 481  
 rogalj (ugao) 34  
 rogovača 18, 385, 513, 517  
 Rohrbach-ova otopina 256  
 romboedar 55, 149, 158, 173  
 — I. reda 160  
 — II. reda 160  
 — III. reda 160  
 romboedrijska hemiedrija 149  
 — tetartoedrija 159  
 rompske bipiramide 177  
 — dome 178  
 — prizme 178  
 rompski bisfenoidi 182  
 — dodekaedar 42, 95, 110  
 — pedioni 181  
 — pinakoidi 179  
 rompski sustav 74, 176  
 — hemiedrija 181  
 — hemimorfija 180  
 — holloedrija 176  
 — izračunavanje formi 182  
 — optička svojstva 356  
 — stereografska projekcija 180  
 röntgenogram stalerita 90  
 Röntgenove zrake 88, 314  
 — interferencija 88  
 — ugibanje 88  
 Rosenbusch-ovo pravilo 498  
 Rosiwal-ova metoda brušenja 270  
 rotaciona os 319  
 rotacioni elipsoid 319, 322, 324, 325, 335, 374  
 rozelit 560  
 rožnjak 572, 583  
 — plagioklas diopsidski 572  
 — plagioklas hiperstenski 572

— skapolit diopsidski 572  
 rubidij 392, 393, 545  
 rubin 311, 480  
 ruda 4  
 — arsenska 516 592  
 — bakarna 400, 516, 600  
 — bizmutska 515, 516, 592  
 — livadna 534  
 — močvarna 534  
 — uranska 516  
 rudača 4  
 rudna ležišta 574  
 rudne žice 590, 592  
 — žile 532, 590, 592  
 rudnici antimonski 514  
 — arsenički 514  
 — bakarni 599  
 — željezni 548  
 rumenica 313, 470, 477, 478, 483, 527, 594  
 rupnici 596  
 rutil 128, 135, 235, 244, 251, 292, 325, 409,  
 410, 411, 469, 478, 479, 482, 578, 585,  
 591  
 Safir 292, 311  
 salitra čilska 559  
 — kalcijaska 560  
 — kalijaska 482, 531, 560  
 — magnezijaska 560  
 — natrijaska 467, 482, 559  
 salit 268  
 salmijak 477  
 salski spojevi 504  
 samokovi 599, 600  
 samorodni elementi 398  
 sanidin 330, 513  
 santorinska lava 498, 510  
 sasolin 401  
 sastav mineralni morske vode 523  
 — recentnih lava 508, 509  
 sastavci alotriomorfni 501  
 — hipidiomorfni 501  
 — idiomorfni 501  
 — ksenomorfni 501  
 — mineralni eruptivnih stijena 507  
 — mineralni kamena 501  
 — stijena 583  
 — zamjenici 447  
 sastavljačice molekule 84  
 savitljivi minerali 277  
 savršena kalavost 265  
 Scherrer-ova metoda 92  
 Schneider-ov polarizacioni aparat 364  
 Schröder van der Kolk-ova metoda 301  
 sedefasta sjajnost 265, 309  
 sedimenti bituminozni 537  
 sedimentne stijene 17, 506, 570, 580  
 — ekshalacije 508, 517  
 sedlasta ploha 246  
 sedra 522, 527, 529  
 sekularna metamorfoza 571  
 sekularno preobražavanje 571

sekundarno mineralno ležište 589  
 selen 392, 469, 509  
 senarmontit 477, 554  
 Sénarmont-ova metoda 373  
 sericit 582  
 sericitni filit 582  
 — kvarcit 582  
 serpentin 275, 380, 404, 506, 555, 566, 586,  
 587, 592  
 sfalerit 56, 58, 103, 241, 245, 309, 314, 315,  
 411, 467, 478, 516, 538, 554, 557, 562,  
 563, 589, 590, 592, 598  
 sfenoidska tetartoedrija 133  
 sferna projekcija 60  
 sferokristali 23  
 sferoliti 23  
 siderit 245, 307, 379, 380, 417, 418 420, 429,  
 485, 530, 532, 552, 556, 563, 588, 589  
 sige 529, 531  
 sienit 2, 574  
 sile kemijske, uticaj 489  
 silicij 391, 393, 468  
 silicijski dioksid 411  
 — fluorid 509  
 silikati 403, 480, 485, 507, 513, 550  
 — bazični 498  
 — bojadisani 498  
 — bezbojni 499  
 — magnezijski 498  
 — magnezijsko-kalcijski 498  
 — željezni 498  
 silikatne stijene 532, 551, 566, 567  
 silimanit 329, 482, 571, 572, 579, 583, 584, 585  
 silimanitni gnajs 583  
 silvin 107, 250, 281, 467, 542, 543, 544  
 simbol plohe 48  
 simbolizovanje plohe 48  
 simetrija, broj 52, 53  
 — centar 54  
 — elementi 55  
 — elementi jednostavni 55  
 — fizička 56  
 — geometrijska 56, 79  
 — kristala 51  
 — os 53  
 — pravac 81  
 — ravnina 52  
 — ravnina glavna 94  
 — složena 55  
 — tačka 82  
 — viši stupanj 236  
 singenit 545  
 sintetički minerali 4, 476  
 sinteza 386  
 sinjavci 402, 478, 516, 539, 540, 561, 590, 591  
 sismondin 571  
 sistem binarni, dijagram 436  
 — periodički 395  
 — ternarni dijagram 496  
 sistematika 5  
 sitnozrnasta struktura 500  
 sjajnost 265, 309  
 — masna 265, 309  
 sjajnost metalna 309  
 — dijamantna 265, 309  
 — sedefasta 265, 309  
 — staklasta 265, 309  
 — svilenasta 309  
 skala indikatora 259  
 — tališta minerala 375  
 skalaran 14  
 skalenoedar 129, 150, 174  
 skakit 511  
 skapolit 517, 572, 574, 587  
 — diopsidski rožnjak 572  
 skarn 574  
 sklerometar 272  
 skolecit 195  
 slana jezera 524  
 — izlučivanje minerala 540  
 slijed kristalizacije magme 498  
 slitine 425  
 slobodan kristal 17  
 složena simetrija 55  
 smaltin 417, 539, 554  
 smaragd 374  
 smitsonit 417, 418, 485, 530, 554, 556, 588  
 smjer rasteinja 36  
 smjesa eutektička 376, 435  
 — eutektikum 435, 436  
 — izodimorfna, dijagram 444, 445  
 — izomorfna 420  
 — molekula na 452  
 smole fosilne 539  
 smolinac 31  
 snježni kristali 18, 22  
 so bazična 401  
 — kisela 401  
 — neutralna 401  
 — topljivost 540  
 soda 464, 531, 546  
 sodalit 453, 486, 507, 513, 589  
 sodalitna grupa 453  
 sodna jezera 525, 546  
 — izlučivanje minerala 546  
 sofioni 508, 513  
 solfatara 508, 510  
 soli 452  
 — hidrofilni 454  
 — hidrofobni 454  
 — liofilni 454  
 — liofobni 454  
 soli 401  
 — haloidne 402  
 solidus-krivulja 438  
 solucija kobaltna 464  
 sona kiselina 459, 464, 490, 508, 509, 510, 511  
 sorpcija 456  
 sosirit 570  
 spajanje elemenata 398  
 specifična težina 253, 376, 578  
 — izomornih smjesa 431  
 specifični volumen 259, 444  
 — izomornih smjesa 431  
 specijalna mineralogija 5  
 spektar barijski 466



spektar kalcijski 467  
 — kalijski 467  
 — litijski 468  
 — natrijski 468  
 — stroncijski 469  
 spektrometar Bragg-ov 91  
 spinel 479, 481, 482, 572, 574  
 spinelski zakon 230  
 spirale Airy-eve 367  
 spojevi adsorpcioni 456  
 — femski 504  
 — kemijski 398, 399  
 — molekularni 402  
 — salski 504  
 sporedne ravnine simetrije 94  
 sporogelit 457, 565  
 sprave polarizacije 336  
 sraslaci 228, 267, 368  
 — albiti 235  
 — dodirni 233  
 — dopunci 231  
 — dvostruki 231  
 — jukstapozicioni 233  
 — mimetski 237, 369  
 — mnogostruki 234  
 — penetracioni 233  
 — polisintetski 235, 369  
 — povratni 235  
 — prodorni 233  
 — prstenasti 235  
 — razvitak 234  
 — tlačni 268  
 — zavojiti 235  
 spurit 573, 575  
 spužve 534  
 sraslačka os 229  
 — ravnina 229  
 sraslačke lamele 234  
 — udubine 234  
 sraslački šavovi 234  
 — zakon 230  
 sraštenje paralelno 239  
 — pravilno 240  
 sraz, kut 291  
 srebrne rude 601  
 srebrni rudnici 599  
 srebro 277, 294, 372, 383, 393, 394, 400, 469,  
 476, 479, 484, 516, 545, 561, 585, 594,  
 597, 598, 601  
 srebrodelci 596  
 srpski zakon 230  
 staklasta osnova 503  
 — sjajnost 265, 309  
 staklo 499, 572  
 stalagmiti 528  
 stalaktiti 528  
 stalaktitni agregat 29  
 stalnost kutova (uglova) 35  
 stanje agregatno vode, dijagram 492  
 — elementarno 398  
 staurolit 233, 240, 572, 583, 589  
 steatit 277, 586  
 Stenonov zakon 36  
 stereografska projekcija 62

stereografska projekcija heksag. sustava 147  
 — monoklinskoga sustava 194  
 — rompskoga sustava 180  
 — teseralnoga sustava 99  
 — tetragonskoga sustava 127  
 — triklinskoga sustava 212  
 sterkorit 558  
 stijena 3  
 — alkalijski niz 503  
 — brušenje 343  
 — dolomitna 563, 565, 575  
 — efuzivna 503  
 — eruptivna 29, 392, 499, 532, 565, 577,  
 580, 583, 591, 592  
 — eruptivna bazična 393, 503  
 — eruptivna kisela 392, 503  
 — eruptivna neutralna 503  
 — hipokristalina 503  
 — holokristalina porfirna 502  
 — intruzivna 502  
 — kalcijsko-alkalijski niz 503  
 — karbonatska 565, 566, 592  
 — klastična 570, 576  
 — krečnjačka 533, 563  
 — krvno srodstvo 504  
 — olivinska 506  
 — precipitarna 569  
 — propast 564  
 — propilitizovana 514  
 — sedimentna 506, 570  
 — silikatna 530, 532, 551  
 — struktura 500  
 — taložna 565, 570  
 — tekstura 500  
 — vapnenjačka 565  
 stiva 385, 405  
 strengit 557  
 stress 579  
 stroncij 392, 393, 469, 476  
 — spektar 469  
 stroncijanit 314, 417, 469, 530  
 struja električna 539  
 — galvanska 383, 549  
 struktura holokristalina porfirna 503  
 — igličasta 28  
 — kemijska 405  
 — kristala 83  
 — krupnozrnasta 500  
 — lisnata 28  
 — lupinasto-trakasta 29  
 — ljuskava 28  
 — porfirna 503  
 — promjena 377  
 — prtičasta 28  
 — sitnozrnasta 500  
 — stijena 500  
 — trakasta 28  
 — vlasasta 28  
 — zrnasta 28, 500  
 strukturne formule 405  
 struvit 559  
 stubasti kristali 244  
 stupanj kalavosti 263

stupanj simetrije viši 236  
 sublimacija 376, 477  
 suhe taljevine 481  
 sukcinat 539  
 sukladni hemiedri 76  
 sulfati 512, 513, 530, 547  
 — aluminijski 556  
 sulfatni minerali 541  
 sulfidi 402, 490, 498, 507, 511, 561, 572  
 — alkalijski 527  
 sulfoborit 545  
 sulfohalit 547  
 sulfokiselina 402  
 sulfosoli 402  
 sumpor 11, 180, 184, 309, 375, 376, 380, 382,  
 392, 393, 398, 469, 477, 478, 508, 509,  
 510, 517, 521, 535, 537, 545, 553, 573, 585  
 sumporasta kiselina 490, 508, 512  
 sumporna kiselina 459, 461, 464, 509, 512,  
 517, 553, 555  
 sumporni bakteriji 536  
 — vodik 490, 508, 509, 512, 535  
 sundjeri 535  
 sustav heksagonski 74, 140  
 — kristalni 73, 93  
 — kvadratni 122  
 — monoklinski 74, 190  
 — od 9 zona 64  
 — rompski 74, 176  
 — teseralni 73, 93  
 — tetragonski 73, 122  
 — trigonski 160  
 — triklinski 74, 209  
 svestrani tlak 579  
 svijetlo 283  
 — apsorpcija 310, 333  
 — bijelo 285  
 — cirkularno polarizovano 288  
 — devijacija 302  
 — disperzija 286  
 — jakost 285  
 — konvergentno polarizovano 343  
 — kružno polarizovano 288  
 — linearno polarizovano 284  
 — lom 305  
 — monohromatsko 285, 347  
 — obično 284  
 — odraz 290  
 — odraz potpuni 295  
 — polarizovano 284, 305  
 — polarizovano paralelno 343, 345, 356  
 — refleksija 290, 305  
 svilenasta sjajnost 309  
 svjetlene figure 291  
 svjetljenje dragulja 297  
 — minerala 314  
 svojstva električna minerala 380  
 — fizička izomorfnihi smjesa 431  
 — fiziološka 385  
 — geometr. izomorfnihi smjesa 429  
 — kemijska izomorfnihi smjesa 443  
 — magnetska 378

— optička izomorfnihi smjesa 433  
 — termička 372  
 Šavovi sraslački 234  
 šećer 315  
 šelit 131, 514  
 šenit 545  
 školjkaši 588  
 škriljava struktura 582  
 škriljci glaukofanski 583  
 — kloritni 582  
 — kristalasti 506, 565, 574, 578, 580, 581  
 — paleozojski 595  
 štajnmark 515  
 štolcit 514  
 Tablica elemenata 394  
 — periodičkoga sistema 395  
 — polimorfnihi minerala 412  
 tačka simetrije 82  
 tahhidrit 545  
 tajlorit 558  
 talište 375, 492  
 — minerala skala 375  
 talk, vidi milovka  
 talozi kemijski 569  
 taložne stijene 565, 570  
 taljenje, dijagram 436  
 taljevina 480, 489  
 — suha 481  
 taljevinke otopine 489  
 taljivost 435  
 tantal 393  
 tantalit 384, 421, 515  
 tarnovicit 425, 427, 428  
 tautozonalne plohe 41  
 tefroit 480  
 tekući kristali 15, 16  
 — minerali 3, 376  
 telur 392, 469  
 tekstura stijena 500  
 — fluidalna 500  
 temperatura 377, 489, 518, 570, 576, 577  
 tenardit 403, 489, 490  
 tenorit 399, 511, 547  
 teodolitni goniometar 40  
 teorija Bravais-ova 85  
 — Haiy-eva 83  
 — kristalizaciona Weimarn-ova 455  
 termička svojstva minerala 372  
 termoelektriciteta 382  
 termoluminiscencija 314  
 termometamorfni minerali 572  
 termometamorfna 572  
 termometar geološki 568  
 termonatrit 546  
 termostruje 382  
 ternarni sistem, dijagram 496  
 terra rossa 456, 564, 565  
 teseralni sustav 73, 93

tetragonska hemiedrija 100, 103, 106  
 — holoedrija 93  
 — izračunavanje formi 109  
 — optička svojstva 289, 317  
 — stereografska projekcija 99  
 — tetartoedrija 107  
 tešmaherit 558  
 tetartoedar 75  
 tatartoedrija heksagonskoga sustava 155  
 — romboedrijska 159  
 — teseralnoga sustava 107  
 — tetragonskoga sustava 133  
 — trigonska 156  
 tetartopiramida 210  
 tetraedar 75, 101  
 tetraedrijska hemiedrija 100  
 tetraedrijski pentagonski dodekaedar 77, 107  
 — položaj atoma 452  
 tetraedrit 103, 561  
 tetragira 54  
 tetragonska bipiramida I. reda 124  
 — II. reda 124  
 — III. reda 131  
 — deuteropiramida 124  
 — deuteroprizma 126  
 — os simetrije 54  
 — piramida 129  
 — prizma I. reda 126  
 — II. reda 126  
 — III. reda 131  
 — protopiramida 124  
 — protoprizma 126  
 — tritopiramida 131  
 — tritoprizma 131  
 tetragonski bifenoid 55, 129, 133  
 — pedion 129, 133  
 — pinakoid 127  
 — skalenoedar 129  
 tetragonski sustav 72, 122  
 — hemiedrija 128, 129, 130, 131  
 — hemimorfija 128, 133  
 — holoedrija 123  
 — izračunavanje kristalnih formi 134  
 — optička svojstva 349  
 — stereografska projekcija 127  
 — tetartoedrija 133  
 tetraakisheksaedar 42, 96, 110  
 tetrametrijska ploha 82  
 tetrasimetrijska ploha 82  
 težina specifična 253, 376  
 Thoulet-ova otopina 256  
 tinkal 547  
 tinjac 245, 265, 268, 273, 274, 277, 292, 307, 309, 368, 481, 513, 515, 517, 589  
 — od 1/4 undulacije 354, 362  
 tinjčasti gnajs 583  
 tinjčev škrljac 581  
 tip hipoheksagonski 225  
 titan 391, 393, 469  
 titanit 481, 513, 517, 577, 578, 583, 592  
 titanski minerali 392  
 titraj, amplituda 285  
 titrajna faza 285  
 — ravnina 284  
 titrajno vrijeme 285  
 tlačne figure 268  
 tlačni sraslaci 268, 580, 582  
 tlak 370, 486, 489, 491, 513, 551, 570, 576, 577, 580, 590  
 — bočni 590  
 — hidrostatski 579  
 — jednostrani 579  
 tok taljenja 436  
 topaz 240, 311, 314, 382, 515, 516, 517, 592  
 topazovac 515  
 toplina, rasprostiranje 373  
 — vodjenje 372  
 topljivost, dijagram 542  
 — minerala 459, 519, 551  
 — soli 540  
 topotropija 449  
 topotropijske promjene 449  
 topske osi 259  
 topski parametri 259, 418  
 tor 392  
 — raspadanje 383  
 torijanit 384  
 torit 384  
 totalna refleksija 295  
 trahit 511  
 trakasta struktura 28  
 trakasti agregati 28  
 — paralelni 28  
 — radijalni 28  
 trakasto lupinasta struktura 29  
 translacija 266, 582  
 translaciona ploha 266  
 trapezoedar 153  
 trapezoedrijska hemiedrija 131, 153  
 — tetartoedrija 158  
 travertin 529  
 tremolit 403, 573  
 triboluminiscencija 315  
 tridimit 377, 411, 452, 481, 482, 511, 572  
 trigira 54  
 trigonska bipiramida I. reda 148, 156  
 — II. reda 156, 158  
 — III. reda 156  
 — hemiedrija 148  
 — hemimorfija 155, 160  
 — os simetrije 54  
 — piramida 160  
 — I. reda 155  
 — II. reda 155  
 — prizma 148  
 — prizma I. reda 155, 156  
 — II. reda 156, 158  
 — III. reda 156  
 — tetartoedrija 156  
 trigonski trapezoedar 158  
 trigonski sustav 160  
 trihiti 22, 25  
 trijakisoktaedar 42, 97, 102, 114  
 triklinske brahidome 211

— brahipiramide 210  
 — brahiprizme 210  
 — dome 210, 211  
 — piramide 210  
 — prizme 210  
 triklinski brahipinakoid 211  
 — pedioni 212  
 — pinakoidi 211  
 triklinski sustav 74, 209  
 — hemiedrija 212  
 — holoedrija 209  
 — izračunavanje formi 212  
 — optička svojstva 361  
 — stereografska projekcija 212  
 trimetrijska ploha 82  
 trimorfni minerali 411  
 tripoli 534  
 trisimetrijska ploha 82  
 tritopiramida heksagonska 152  
 — tetragonska 131  
 tritoprizma heksagonska 153  
 — tetragonska 131  
 trona 546  
 troosni elipsoid 327, 335, 374  
 troska 12, 481, 594, 595, 597, 598, 600, 601  
 trošenje minerala 564, 567, 582  
 — stijena 568, 569  
 trošlik 566  
 tupa bisektriks 327  
 — raspolovnica 327  
 turmalin 81, 155, 244, 246, 248, 251, 263, 335, 336, 379, 380, 381, 515, 516  
 turmalinovac 515, 516, 592  
 turmalinska klijesla 336, 339  
 — pločica 305, 316, 337  
 tvar kemijski čista 425  
 tvrdina 270  
 — krivulja 272  
 — ljestvica Mohs-ova 270  
 Tyndall-ov fenomen 453  
 Udarne figure 268  
 udubine 281  
 — sraslačke 234  
 ugao (rogalj) 34  
 ugibanje Röntgenovih zraka 88  
 uglovi (rogljevi) bridni 36  
 — plosni 36  
 ugljenik, požar 517  
 ugljična kiselina 469, 490, 508, 524, 551, 560, 573  
 ugljik 10, 87, 391, 392, 409, 410, 509  
 ugljikov dioksid 509, 551  
 — monoksid 509  
 ugljikovi vodici 490, 509  
 uklopci 250, 292  
 — čvrstih tvari 251  
 — plnova 250  
 — stakla 251  
 — tekućina 250  
 — zonarni 252  
 uleksit 547  
 ulmanit 108  
 ultramikroskopija 453  
 umanjivanje obima minerala 374  
 unakrštena disperzija 361  
 unakršteni nikoli 343, 345  
 undulozno pomračenje 582  
 unutrašnja napetost 371  
 uralit 580, 585, 587  
 uran 393, 469  
 — raspadanje 383  
 uranov smolinac 383, 384, 469  
 uranske rude 516, 592  
 uranski minerali 515  
 uransko staklo 314  
 urao 546  
 urasli kristali 17  
 uronjavanja metoda 301  
 uticaj kemijskih sila 489  
 utrusci 503  
 uvećavanje obima 374  
 uzdužna doma 69  
 — os 176  
 uzdužni pinakoid 70  
 Vadozna voda 520  
 vaga hidrostatska 256  
 — Mohr-ova 257  
 — Westphal-ova 257  
 val 284  
 — dužina 284  
 valencija 397  
 valentinit 477, 479, 554  
 valovito pomračenje 579  
 valovna ploha 289, 319, 322, 324, 327  
 valturchi 596  
 valjanost elemenata 397  
 vanadij 393, 469  
 vanadinit 469  
 vanredna zraka 315  
 vanthofit 545  
 van't Hoff-ovi pokusi 541  
 vanjšina kristala 242  
 vaplerit 560  
 vapnenjaci 1, 2, 24, 28, 565  
 veličina kristala 24  
 vektori 14  
 vektorijalan 14  
 vektorijalna gradnja 14  
 — svojstva 14  
 vevelit 557  
 vezuvijan 370  
 vezuvska lava 491, 510, 511  
 vezuvski prah 344  
 vicinalne plohe 46, 246  
 vikarirajući sastavci 447  
 viskoznan 21  
 viskozitet 454  
 — magme 497  
 viterit 466, 486, 530  
 vitrofir 25  
 vivijanit 484, 559  
 vještački minerali 476

- vlasasta struktura 28  
 vlasasti agregat 28, 586  
   — kristali 244  
 voda 253, 374, 377, 403, 469, 492, 493, 569, 577  
   — adsorpciona 404  
   — agregatno stanje 492  
   — arsenska 521  
   — gejzirska 527  
   — gorka 556  
   — izvor, kemijska analiza 520  
   — Jadranskoga Mora, kemijska analiza 520  
   — juvenilna 518  
   — konstituciona 404  
   — kristalna 403  
   — morska 523  
   — mineralna 520  
   — mineralna, kemijska analiza 521  
   — moć otapanja 518, 548, 550, 560  
   — pijaca 520  
   — pitka 520  
   — podzemnica 522  
   — potočna 522  
   — preobražava mineral 547  
   — prezasičena 549  
   — riječna 522  
   — vadozna 520  
   — zasičena 548  
 vodene otopine 482, 489, 518, 549  
   — izlučivanje minerala 526, 527, 530, 531, 533, 537, 539, 540, 546  
   — pare 498, 531, 533, 539  
 vodik 391, 490  
 vodjenje elektricitete 383  
   — topline 372  
 volastonit 481, 571, 577, 578  
 volfram 393, 469  
 volframati 592  
 volframit 252, 313, 470, 514, 516  
 volumen molekularni 259, 578  
   — specifični 259, 444  
 volumni zakon 578, 580  
 vrela gejzirska 534  
 vulfenit 133  
 vulkanske ekshalacije 508  
 vulkansko kamenje 25  
 vurcicit 148, 411, 479
- Weimarn-ova kristalizacija teorija 455  
 Weiss-ovo označivanje 48  
 Westphal-ova vaga 257  
 whewellit 539  
 Widmannstätten-ove figure 282  
 Wollaston-ov goniometar 38  
   — reiraktometar 299
- Zadruga kristalna 26, 27, 591  
 zakon bavorski 230  
   — bridnih kutova (uglova) 36  
   — Dalton-ov 398  
   — dofinejski 234  
   — japanski 233
- zakon karlovarski 230  
   — komplikacija 65  
   — loma 293  
   — manebaški 230  
   — parametara 47  
   — plošnih kutova (uglova) 36  
   — refleksije 291  
   — simetrije 56  
   — spinelski 230  
   — sraslački 230  
   — srpski 230  
   — Stenon-ov 36  
   — tlaka 578  
   — volumni 578  
   — zona 63  
 zameci kristalni 13  
 zamjenjivi elementi 421  
   — sastavci 447  
 zasebni kristal 228  
 zaštitni koloidi 455  
 zatvorena forma 35  
 zavojiti sraslaci 235  
 zbiljski kut (ugao) 363  
 zelena galica 403, 482, 512  
 zeleni škrljac 583  
 zemlja crvenica 565  
   — mekota 566, 567  
   — žutulja 567  
 zemljasti lom 261  
 zemljina jezgra 388  
 zemni plinovi (gasovi) 518  
 zemno ulje 538  
 zeoliti 29, 404, 532  
 zgura 12, 481, 594, 595  
 zlatne rude 601  
 zlato 277, 294, 372, 383, 393, 394, 398, 470, 516, 526, 527, 539, 545, 561, 594, 595, 599, 601  
 znak plohe 48  
 zona 41  
   — cementaciona 562  
   — kamene kore 581  
   — oksidaciona 552, 553, 561, 563,  
   — os 41  
   — ravnina 41  
   — trošenja 582  
 zonalna pravila 64, 65  
 zonarna gradja 439  
 zonarni kristali 248  
 zoogeni minerali 537  
 zraka 284  
   — ekstraordinarna 315, 318  
   — fronta 290  
   — katodna 314  
   — lom 292  
   — ordinarna 315, 317  
   — ploha 290  
   — radijska 314  
   — redovna 315  
   — Röntgenova 88, 314,  
   — Röntgenova ugibanje interferencija 88  
   — vanredna 315  
 zrcalna ravnina 52, 229

- okretanja 55  
 zrnasta struktura 28, 583  
 zrnasti agregat 28
- Željezna galica 427, 564  
 željezne rude 556, 600  
 željezni cvijet 530  
   — klobuk 561, 563  
   — klorid 509  
   — rudnici 548  
   — silikati 498  
   — sjajnik 28, 511, 515, 516, 517, 527, 539, 545, 592
- željezo 277, 278, 372, 378, 383, 391, 392, 393, 400, 470, 545, 573  
   — meteorno 282  
 žice 590  
   — mineralne 590  
   — rudne 590, 592  
 žilavi minerali 278  
 žile 590  
   — mineralne 590  
   — rudne 590, 592  
 živa 374, 393, 394, 470, 486, 594  
 životinje 533

- Na str. 325. red 5. odozgo mjesto 0,1791, mora biti : 0,1719.  
 Na str. 345. red 19. odozgo mjesto : sl. 705.a mora biti : sl. 706.a  
 Na str. 351. red 6. odozgo mjesto : pločica ili, mora biti : pločica tanja ili.  
 Na str. 357. red 1. odozdo mjesto : će se, mora biti : će.  
 Na str. 376. red 21. odozgo mjesto :  $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_{10} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , mora biti :  $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_{10} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .  
 Na str. 394. u tablici elemenata mjesto : 18 Kalij, 19 Argon, mora biti : 18 Argon, 19 Kalij.  
 Na str. 395. red 5. odozdo mjesto : *Mayer*, mora biti : *Meyer*.  
 Na str. 396. red 6. odozdo mjesto : na četiri, mora biti : na šest ; red 5. odozdo iza nikalj ; dodaj još : telur  $\longleftrightarrow$  jod.  
 Na str. 397. red 9. odozdo mjesto : prema Ne, mora biti : prema A.  
 Na str. 401. red 3.—4. odozdo mjesto : me-talne, mora biti : neme-talne.  
 Na str. 406. red 10. odozdo mjesto : 30,06, mora biti : 80,06.  
 Na str. 409. red 13. odozdo mjesto : 1,1771, mora biti : 1,7771.  
 Na str. 414. u tablici odio drugi kod anatasa mora biti osni odnos 1,7771, mjesto : 1,1771.  
 Na str. 419. red 27. odozdo mjesto :  $\text{Bi}_2\text{SeS}_3$ , mora biti :  $\text{Bi}_2(\text{SeS})_3$ .  
 Na str. 424. red 7. odozdo mjesto : klorata, mora biti : spoja.  
 Na str. 431. red 24. odozgo mjesto : str. 330. mora biti : 430.  
 Na str. 433. red 23. odozdo mjesto :  $-1' 20''$ , mora biti :  $+1' 20''$ .  
 Na str. 437. red 5. odozdo mjesto : sl. 579., mora biti : sl. 759.  
 Na str. 443. red 4. odozdo mjesto :  $(\text{CoNi})\text{FeAs}_2$ , mora biti :  $(\text{CoNiFe})\text{As}_2$ .  
 Na str. 455. red 10. odozdo mjesto : anizotropiju, mora biti : izotropiju.  
 Na str. 472. red 16. odozdo mjesto :  $\text{PtCl}_6$ , mora biti :  $\text{PtCl}_4$ .  
 Na str. 475. red 5. odozgo mjesto :  $3\text{K}_2\text{PtCl}_6$ , mora biti :  $\text{K}_2\text{PtCl}_6$ .  
 Na str. 487. red 10. odozgo mjesto : sabrale, mora biti : sabrali.  
 Na str. 493. red 19. odozgo mjesto : čisto željezo (dok obično željezo, mora biti : obično željezo (dok čisto željezo).  
 Na str. 497. pod slikom mjesto : 93, mora biti : 793.  
 Na str. 512. red 4. odozdo mjesto silikata, mora biti : sulfata.  
 Na str. 516. između 9. i 10. reda odozdo umetni : kod bazičnih je magmi baš obratno : u njima ima više klornih, a manje fluornih spojeva.  
 Na str. 536. red 13. odozdo mjesto : reak-, mora biti : reduk-.

120.34    120.12  
 480    600  
 140    240  
 2080    3000