

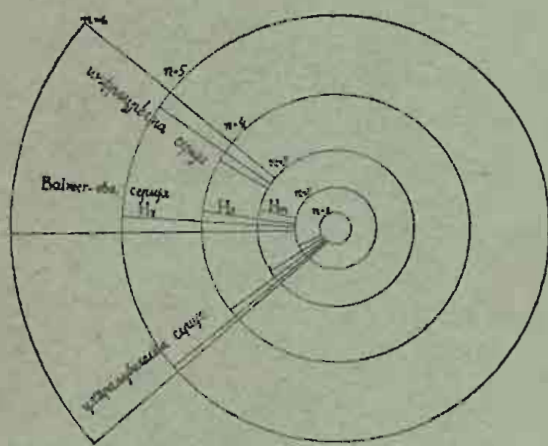
96

Bohr-ова теорија

КОНСТИТУЦИЈА АТОМА
И
ПЕРИОДИЧНИ СИСТЕМ ЕЛЕМЕНАТА

ОД EDMOND-A BAUER-A

С француског С. РИСТИЋ



БЕОГРАД

Штампарииа „Ђ. Јакшић“, Бријанова 15. Телефон 20-111.

1934.

ВОНН-ОВА ТЕОРИЈА

К О Н С Т И Т У Ц И Ј А А Т О М А

И

П Е Р И О Д И Ч Н И С И С Т Е М Е Л Е М Е Н А Т А

Предавање одржано 19 фебруара 1921 и објављено са
додацима о новим радовима

ОД EDMOND-A BAUER-A

С француског С. РИСТИЋ



БЕОГРАД

Штампарија „Ђ. Јакшић“, Бријанова 15. Телефон 20-111.

1934.

ВОНР-ОВА ТЕОРИЈА

КОНСТИТУЦИЈА АТОМА И ПЕРИОДИЧНИ СИСТЕМ ЕЛЕМЕНАТА

I — Може се рећи да године 1911—12 обележавају, за атомску теорију, почетак једног новог доба:

Дотле се нарочито настојало да се она заснује на све чвршћим и чвршћим експерименталним основама, да се докаже постојање атома, да се они броје и мере.

Већ од пре неколико година, скептицизам није био допуштен. *Знало се* да грам-молекул садржи 6 до $7 \cdot 10^{23}$ молекула и да пречник атома варира између 1 и 5 десетомилионитих делова милиметра (10^{-8} см.).

У то време, три велика експериментална открића, учињена једно за другим, отворила су нам неочекивано *унушарњи домен* атома.

Прво од њих је откриће тачних закона који важе за пролазак α -зракова радиоактивних супстанци кроз материју (Rutherford).

Затим долазе открића Laue-a, Bragg-a, Moseley-a: интерференције Рентгенових зракова и њихова спектрална анализа.

Најзад, Soddy и Fajans постављају хемијску класификацију и законе филиације код радиоактивних супстанци.

Од тога времена трудило се да се испита та нова област. Посао је далеко од тога да буде завршен, али се експериментална и теоријска истраживања умножавају са задивљавајућим успехом и ми постајемо господари неколико тачних података о тој ствари. Још Rutherford се устремио на саму срж ове области, на *језгро* атома, централни чвор још хиљаду пута мањи од самог атома; он га је мерио, растављао на простије елементе тако добро, да смо изгледа, *бар за моменаш*, достигли последње састојке материје, негативни електрон, добро познат почев од краја последњег века, и језгро водониковог атома које је вероватно позитивни електрон.¹⁾

1) Напомињем да су се главне особине електрона могле одредити у исто време и са исто толиком тачношћу као и особине атомâ. Његово електрично пуњење e износи $4,78 \cdot 10^{-10}$ електростатичких јединица; његова маса је

$\frac{1}{1847}$ део масе водониковог атома; његове димензије, лошије познате, извесно су много мање од димензија атомâ (његов полупречник је вероватно око $2 \cdot 10^{-13}$ см., што ће рећи 2 милионита дела од милионитог дела милиметра).

Није ми могуће да вам данас говорим о свима чињеницама откривеним од тога времена, ни о свим хипотезама, које су њима изазване. Задовољају се извесним врло простим мислима о конституцији атомâ, мислима које се надовезују на већ скоро класичне теорије Rutherford-a и Bohr-a.

Нећу дакле ништа говорити физичарама. Али сматрам за потребно да прецизирам неке основне појмове које ни један физикохемичар нема више права да не зна.

II Прве хипотезе о електричној конституцији атома.

Од открића електрона и развића Maxwell-ових и Lorentz-ових електричних теорија, једна тенденција доминира целом нашом физиком: пре но што уведемо најмањи могући број хипотеза тражимо да себи створимо чисто електромагнетску слику о материји (оставивши на страну феномене гравитације).²⁾

Од првих година овога века, физичари су покушали да прецизирају наше идеје о електричној конституцији атомâ. Одмах су се јавиле две могуће хипотезе. Лорд Kelvin је, 1902, објавио *статичку теорију* атома, коју је касније развио J. J. Thomson, и на коју ћу се вратити за који тренутак. С друге стране, 1901, J. Perrin је на једној конференцији изнео следећу *динамичку теорију*: атоми су системи аналози сунчаном систему, негативни електрони круже као планете око позитивног центра који их привлачи силом обрнуто пропорционалном квадрату растојања.

Али у то доба, таква теорија која претпоставља електроне у кретању, није још могла да продре, јер је као последицу имала *нестабилност атома*. У ствари, електрони у свом елиптичном кретању трпе у сваком тренутку знатна *убрзања*, јер се њихова брзина непрестано мења по правцу и по величини. Према томе Maxwell-Lorentz-ова електромагнетска теорија има као неопходну последицу следећу теорему: свако убрзање једног наелектрисаног тела прати зрачење, емисија електромагнетског (или светлосног) таласа, који односи извесну количину енергије.

Посматрајмо у пресеку елиптичну путању електрона у атому таквом, каквог га замишља Perrin, она ће нам изгледати као мали електрични осцилатор, сасвим сличан сићушној антени бежичне телеграфије, кроз коју пролази алтернативна струја. Узмимо нарочито да овај систем изашиље таласе са периодом која је једнака трајања револуције електрона. Али та се емисија пак може извршити само утрошком механичке енергије електрона. Овај се дакле успорава мало по мало и најзад завршује падајући инертан на позитивни центар. *Атом није стабилан*.

2) Као што ћемо видети, та тенденција већ наилази на тешкоће. Знамо да је васиона бескрајно богата и сложена и да је немогуће обухватити је једном једином формулом. Али је електрична теорија материје још у пуној снази својих успеха. Треба исцрпсти експликативну моћ теорије или открити чињенице које би јој биле противне, пре но што се постави нова.

Вероватно се баш из тога разлога напустило динамичко гледиште, и на први се поглед учинило, да се чисто статичка слика Лорда Kelvin-a и sir J. J. Thomson-a боље слаже са чињеницама.

Ево њених битних црта: позитивни електрицитет образује сферу, чији је пречник једнак пречнику атома, па према томе приличну велику. У унутрашњости те сфере плове негативни електрони. Они су ту у равнотежи под истовременим привлачним дејством позитивног електрицитета — које је пропорционално растојању од центра — и њиховог узајамног одбијања. Сlike равнотеже коју узимају такви системи омогућују да се у извесној мери разуме периодичност код класификације елемената.

Ова концепција атома, данас напуштена, има знатну историјску важност, јер је она довела J. J. Thomson-a до открића методе која му је омогућила да израчуна број присутних електрона у унутрашњости сваке врсте атома.

Та је метода сасвим слична оној, којом се израчунава број молекула атмосфере фотометријском студијом плаве боје неба. Само овде светлост не може ни за шта служити. Једино Рентгенови зраци, светлост врло високе фреквенције, могу да усталасају све електроне, чак и оне који су врло тесно везани за позитивни електрицитет.

Код случаја са светлошћу, чија је таласна дужина много већа од пречника молекула, сваки ваздушни молекул, усталасан таласима који долазе са сунца, ступа у резонанцију, трепери сложено са њима; он их расипа у свима правцима. Дифузивна моћ атмосфере је сразмерна броју присутних молекуларних резонатора у сваком кубном сантиметру ваздуха.

Рентгенови зраци имају таласну дужину много краћу, из реда атомских димензија. Кад пролазе кроз молекул, они sukcesивно ударају сваки електрон и њихова се фаза мења од једног до другог електрона. Овде више не сачињава, дакле, молекул елементарни резонатор, већ електрон. Дифузивна моћ једног алуминиумовог или бакарног листића за ове зраке, пропорционална је броју електрона који се у њему налазе, то јест броју атома помноженом са бројем електрона, који сваки од њих садржи.

Нећу да нарочито указујем на експерименталне тешкоће. Barkla Sadler су могли извести доста прецизна мерења да би показали да је број електрона N_a који су у унутрашњости атома једног датог елемента, врло приближно једнак половини атомске масе. Експерименти су се могли извести само са неколико лаких елемената (C, Al).

Пошто су атоми електрично неутрални, N_a претставља и број елементарних пуњења e , чији скуп образује позитивну сферу (свако од тих позитивних пуњења једнако је, по апсолутној вредности, пуњењу електрона).

Тако је први пут била измерена основна величина која

се данас назива атомским бројем N_a : број унутарњих електрона у атомима, број елементарних конститутивних пуњења позитивног центра.

III Пролазак α -зракова кроз материју. Rutherford-ов атом

У то доба¹⁾ Rutherford већ беше открио, за испитивање унутрашњости атома, много моћнију и плоднију методу од дифузије X-зракова материјом.

Познато је да се α -зраци, бачени у простор дезинтеграцијом радиоактивних атома, састоје из материјалних честица много тежих од електронâ. То су, као што је Rutherford показао има већ дуже времена, атоми хелијума од којих сваки носи два позитивна елементарна пуњења (означићемо их симболом He^{++}) и бачени брзином из реда 20.000 километара у секунди.

Код тако великих брзина, обични се закони механичких судара, који се предвиђају у кинетичкој теорији гасова, не могу сасвим применити. Оглед показује да α -зраци пролазе кроз материју скоро строго праволинијски. За њих атоми нису више непробојни него их пропуштају да прођу, као што болиди пролазе кроз земаљску атмосферу.

Ако се узме, као што је и природно у електричној теорији материје, да су узајамна дејства између атома и α -делића чисто електромагнетска, онда изгледа да се ове чињенице добро слажу са идејама J. J. Thomson-а. Позитивна сфера, која је велика, али чија је електрична густина релативно слаба, нема времена да у току брзог проласка једног пројектила He^{++} , приметно скрене исти од праволинијске путање. Што се тиче електрона, они се узвитају као прашина.

Рачун је дакле предвиђао врло мале девијације. Први експерименти изгледаше да потврђују да је то тачно. Али Rutherford схвати ствар тако да овде треба извршити прецизна мерења. Он је био свестан од тог тренутка да су α -делићи, који иду скоро до сржи атомâ, чудна оруђа за дисекцију, неупоредиве сонде.

Geiger и Marsden преузеше експериментални рад. Резултат је био изненађујући. Теорија J. J. Thomson-а није се потврдила. Док је већина честица једва скренута, неколике између њих, у врло малом броју (од прилике једна на десет хиљада трпе знатне девијације, које могу достићи до 120 степени, што одговара повратку у назад.

Од тада, C. T. R. Wilson је измислио оглед који омогућује да се *виде* те путање. Као што знате, кад се нагло рашири ваздух засићен воденом паром, он постане пресићен услед хлађења произведеног раширивањем. Ако ваздух садржи макакве *јоне* или праšину, пресићена водена пара почиње да се

¹⁾ Први експерименти потичу из 1906, готови резултати из 1909.

кондензује на сваком од ових центара и ту ствара малу капљу воде видљиву кад се згодно осветли. Дакле, α -делић пролазећи кроз молекуле ваздуха, *јонизује* велики број од њих. Ако се произведе нагло раширивање непосредно пре његовог проласка, сви јони поређани у низ на његовој путањи постају видљиви. На фотографији, путања се оцртава као путања звезде падалице у атмосфери.

Резултати су апсолутно јасни. Путање су уопште скоро праволинијске, али се на извесним, врло ретким примећује нагли прелом који открива особито јак судар.

Ти се судари апсолутно не могу објаснити атомским моделом J. J. Thomson-а. У ствари ту треба да има приметне девијације само ако α -делић удари у нешто тешко, чија би маса била из истог реда величине, или још већа, од његове. Ови се изузетни *сукоби* могу дакле десити само са самим *језгрима* атома, језгрима у којима је сконцентрисана скоро сва атомска инерција. Али, с друге стране, сама реткост ових сукоба доказује да језгра истављају на супрот проласку α -зракова необично малу мету: већина делића пролазе крај њих, не додирујући их. Она, дакле, заузимају само сићушни део запремине коју испуњује материја. Разуме се да је довољно избројати сударе праћене приметном девијацијом, тачније, измерити како су распоређени углови девијације између свих посматраних путања, да би се отуда извео пречник *атомских језгра* (или боље рећи горња граница овог пречника). Оглед даје још нешто више: закон одбојних сила које делују у моменту судара између језгра и α -делића.

Ево резултата тих огледа, који су све више и више усавршавани за време од 15 година и који су сада доспели до мерења врло велике тачности (Chadwick 1920).

1⁰ Атоми су планетарни системи слични онима које је замишљао Perrin. Позитивно пуњење је сконцентрисано у врло малом језгру, чији је пречник из реда $3 \cdot 10^{-13}$ см. за хелијум, из реда величина $3 \cdot 10^{-12}$ см. максимум за злато.

2⁰ Одбојна дејства између α -делића и језгра мењају се обрнуто са квадратом растојања. *Та дејства су дакле сасвим просто електростатичка одбијања која делују између делића и њихових пуњења која образују језгро.*

3⁰ Маса атома је скоро сва концентрована у језгру, електрони носе само један њен незнатан део.

4⁰ Електрично пуњење језгра (од кога зависи интензитет сила које одбијају и скрећу α -делиће) може се одредити са тачношћу, до 1,50% његове вредности; тако се добијају бројеви смештени у четвртој колони (N_a експ.) следеће таблице. А претставља атомску масу, N_a стварно атомски број, онакав какав се може добити са свом прецизношћу (§IV и §XI).

ПЕРИОДИЧНИ СИСТЕМ ЕЛЕМЕНАТА

Пери- оде	група 0	група I	група II	група III	група IV	група V	група VI	група VII	група VIII
		1) H 1,008							
1	2) He 4,00	3 { 6,0 7,0	4) Be 9,1	5) B { 10,0 11,0	6) C 12,0	7) N 14,01	8) O 16,00	9) F 19,00	
2	10) Ne { 20,0 22,0	11) Na 23,00	12) Mg { 24,0 25,0 26,0	13) Al 27,1	14) Si { 28,0 29,0	15) P 31,04	16) S 32,06	17) Cl { 35,0 37,0	
3	18 Ar { 40,00 36,00	19) K { 39 41	20) Ca 40,07	21) Sc 44,1	22) Ti 48,1	23) V 51,0	24) Cr 52,0	25) Mn 54,93	26) Fe 55,84 27) Co 58,97 28) Ni 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 81	
4	36) Kr { 78,80 82,83 84,86	37) Rb { 85 87	38) Sr 87,83	39) Y 87,7	40) Zr 90,6	41) Nb 93,5	42) Mo 96,0	43) —	44) Ru 101,7 45) Ra 102,9 46) Pd 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) I 126,92	
5	54) Xe { 129 131 132 134 136	55) Cs 132,81	56) Ba 137,36	57) до 72) ретки метали	57) до 72) ретки метали	73) Ta 181,5	74) W 184,0	75) —	76) Os 190,9 77) Ir 193,1 78) Pt 195,2
		79) Au 197,2	60) Hg { 197 до 204	81) Tl { 204 до 210	82) Pb { 206 до 214	83) Bi { 208 до 214	84) Po { 210 до 218	85) —	
6	86) Em { 218 220 222	87) —	88) Ra { 222 до 228	89) Ac { 226 до 228	90) Th { 226 до 234	91) Pa { 230 до 234	92) U { 234 до 238		

Елемент	A	A/2	N _a експ.	N _a стварно
Cu . . .	63,57	31,7	29,3	29
Ag . . .	107,88	54	46,3	47
Pt . . .	195,2	98	77,4	78

У трећој се колони налазе половине атомских маса A/2, које се за извесне лаке елементе слажу са атомским бројевима, али отступају од њих у колико се даље иде у низу елемената.

Ови нас огледи принуђују да потпуно напустимо гледиште sir J. J. Thomson-а. Њихова демонстративна моћ је толика, да више нико не може оповрћи Rutherford-ове идеје.

Они чине *најнепосредније средство* да се сазна пуњење језгра.

Знамо да атомски бројеви N_a треба да буду цели. Код бакра један једини цео број 29 разликује се од 29,3 за мање од 1,5%. *Атомски број бакра је утврђен на строго тачан начин, он је једнак 29.*

IV Периодични систем и структура атома.

Атоми се дакле састоје из врло малих позитивних језгара окружених електронима. Пуњење језгра и број електрона расте скоро пропорционално са половином атомске тежине, нешто мало спорије као што то показује горња табелица.

Како су распоређени ти електрони у разним атомима? Колики је њихов тачан број, који нам Rutherford-ова метода није још дала сем за бакар? У каквој су вези атомски бројеви са особинама елемената?

На сва ова питања, хемијске нам чињенице дају најпростије и најнепосредније одговоре.

Ево Менделејевог периодичног система у његовом данашњем облику (стр. 8). Ви га познајете, знате да је он дао једну врло сугестивну слику о узајамним односима између разних елемената. Кад се ови поређају по њиховим растућим атомским тежинама, наилази се, у доста правилним интервалима (са неколико инверзија), на тела која имају аналоге особине. Они се на тај начин ређају у девет породица или природних група, од којих свака одговара једној вертикалној колони.

Дуго се мислило да свака хоризонтална линија образује једну *периоду*, после које поново долазе елементи исте породице.

Данас изгледа да је оправданије сматрати да су периоде неједнаке дужине. Пре свега, треба први елемент, водоник, издвојити на страну. Затим долазе две *мале периоде* свака од по 8 чланова, које су скоро идентичне и обухватају свака по једну хоризонталну линију. Одговарајући елементи из обе периоде имају блиске хемијске особине (изузев можда у групама II и III). Потом

долазе две *друге периоде* од осамнаест елемената, од којих се свака састоји из две потпериоде заузимајући свака по једну линију таблице. Њихови први чланови су врло блиски одговарајућим елементима из првих двеју периода.

Када се даље иде показују се размимоилажења, од којих је главно потребно увођење једне нове групе, групе VIII, где се ређају један крај другог гвожђе, кобалт и никал. Елементи који показују размимоилажења, уоквирени су у табели тачкастим линијама.

Друга потпериода је допуна првој. Ништа у нултој и ништа у осмој групи. Иста се чињеница понавља правилно у четвртој и петој периоди. Отуда сада можемо закључити: не ради се само о случајним празнинама које ће се једног дана попунити огледи; та места *морају* остати празна. Видећемо у осталом да кад то не би било тако, атомски број бакра не би могао бити 29 као што су то показали Chadwick-ови огледи. Moseley-ева испитивања о спектрима, X-зракова, о којима ћу мало доцније говорити, потпуно су утврдила наше идеје о том предмету.

Друга велика периода, четврта у табели, је скоро идентична са трећом. Размимоилажења која је ова показивала са првим двама понављају се баш на истим местима.

Пета периода је још дужа. Она обухвата 32 члана. Она личи двама претходним с том разликом, што у првој потпериоди места из III и IV групе заузимају 16 елемената врло блиских један другом. ретки метали.

Шеста периода најзад почиње као и остале, али су њени елементи нестабилни, радиоактивни. Она се зауставља код урана. Вероватно је, да је овај завршетак, тако рећи, случајан, и да се створио из простих разлога стабилности, пошто би тежи елементи били одвећ радиоактивни да би могли постојати у знатној количини на нашој планети.

Испитајмо изближе извесне карактере породица или група елемената, од којих свакој одговара једна вертикална колона периодичне табле. Ограничићемо се на две прве, најпростије периоде. Као што је већ Менделејев приметио хемијска *валенца* стално варира од једне до друге групе.

То непосредно и доказује следећа табела. Али да би се до јасних резултата треба:

1^о правити разлику између једињења са хлором или кисеоником где ступају у реакцију *електропозитивне* валенце, и једињења са водоником или алкалијама, која одговарају *електронегативним* валенцама.¹⁾

2^о у сваком случају бележите само максималну валенцу (ми смо, у колико је то могуће, унели у таблицу само проста и добро позната тела).

¹⁾ Алкалије и водоник су тип електропозитивних елемената, хлор и кисеоник електронегативних елемената. Валенце извесног знака *засићене* су сједињавањем са валенцом супротног знака.

Групе	0	I	II	III	IV	V	VI	VII
Електропозитивне валенце.	—	Li Cl Li ₂ O	Mg Cl ₂ Mg O	Al Cl ₃ Al ₂ O ₃	CCl ₄ CO ₂	NCl ₅ N ₂ O ₅	SO ₃ ClO ₃	Cl ₂ O ₇ Mn ₂ O ₇
Карактери засићених оксида		јаке базе	јаке базе	слабе базе сл. киселине	слабе киселине	јаке киселине	јаке киселине	јаке киселине
		врло стабилни	врло стабилни	Стабилност опада →				
Електронегативне валенце	—	—	—	—	CH ₄ Si H ₄	NH ₃ PH ₃	H ₂ O H ₂ S	HF HCl
карактери засићених хидрида		—	—	—	неутрални	базни или кисели	слабо кисели или неутрал.	јаке киселине
			непознати ←		стабилност опада			врло стабилни
Јони у воденом раствору	—	+ Li + Na	+++ Be +++ Mg	+++ Al —	—	—	O ⁻ S ⁻ ретки	— Cl — F

Из испитивања ове таблице непосредно произилазе следећи закони, који важе бар за прве периоде таблице

1^о Број електропозитивних валенци једнак је редном броју групе. У колико он расте, у толико опадају чистоћа позитивног карактера и одговарајући афинитети).

2^о Број електронегативних валенци једнак је 8 мање редни број групе. У колико он расте у толико опадају чистоћа негативног карактера и одговарајући афинитети.

3^о Укупан број валенци (позитивних и негативних) је константан, једнак је 8.

Особито је интересантан случај елемената групе IV, нарочито угљеника. Овај се елемент налази у средини таблице, подједнако удаљен од алкалија и халогена; његове четири валенце могу се сматрати како се хоће, било као позитивне или као негативне, њихов електрохемијски карактер зависи од тела са којим се везују. То је у суштини пасиван елемент, који ће због тога и показивати велико обиље једињења, јер ће се јединити са сваким елементом са којим се доведе у додир. На исти се начин објашњава његова скоро константна четривалентност.

Електронска интерпретација ових хемијских закона је тако проста да се непосредно намеће.

Пре свега, знамо да су за електропозитивни карактер метала везани физички карактери, који сви указују на нарочиту

1) Правила стабилности тачна су само узета група, просечно.

лакоћу електрона са којом они остављају атоме: проводљивост метала, велика моћ одбијања светлости и нарочито ранг у Волтином низу. Овај последњи је квантитативан израз тенденције коју показује елемент да узме позитивно пуњење отпуштајући електроне под многоструким утицајима: ултраљубичасте светлости, топлоте, или простог додира са неким другим елементом.

Има ту читав скуп чињеница које су нас довеле до следећих ставова, које је већ одавно открио Drude,¹⁾ J. J. Thomson, Stark и још други.

Свака позитивна валенца постаје отуда, што један електрон тежи да се удаљи од остатка атома и да му остави једно позитивно пуњење. Тај електрон зато мора лежати на *периферији* атома. Број периферних електрона, једнак је дакле позитивној валенци атома, то ће рећи редном броју групе у коју он спада.

Ми до ових закључака нисмо доведени са апсолутном тачношћу. Али се из масе чињеница стиче јасан утисак да наши ставови стоје врло близу стварности, *бар за прве две периоде периодног система.*

Што се тиче ретких гасова чија је валенца једнака тачно нули, зар они немају ниједног периферног електрона? Мало доцније ћемо лако наћи одговор на то питање.

Покушајмо пре свега, да повучемо све могуће консеквенце из резултата до кога смо мало час дошли: у истој периоди, прелази се од једног елемента до другог додавањем једног периферног електрона. С друге стране, треба да атом као целина остане електрично неутралан. Најпростија хипотеза, која нам се уосталом намеће због скоро сталног прираштаја атомских маса, јесте да језгро добија једно позитивно елементарно пуњење.

Према томе атомски број расте за јединицу, кад се иде од једног елемента ка следећем.

Шта се дешава кад се доспе до краја једне периоде, до халогена, на пример, који имају седам позитивних валенца? Да би се то разумело треба најпре расправити са негативним валенцама.

Атом има једну негашивну валенцу кад тежи да себи присаједини један негашивни електрон.

Свака негативна валенца одговара, дакле, једном *слободном месту* у периферној области атома. Ова је област само онда попуњена кад су све негативне валенце засићене.

Укратко, позитивне валенце одговарају присутним електронима, негативне валенце виртуелним. Пошто је сума обеју валенци једнака осам, можемо рећи:

Перифериска област атома је попуњена кад садржи 8 електрона (бар за прве периоде система — издвојивши на страну случај хелиума).

¹⁾ Drude је до њих доведен интерпетацијом формула за дисперзију (нормалну дисперзију светлости), друге групе чињеница која нас доводи до истих закључака.

Ако дакле додамо један електрон (и једно позитивно елементарно пуњење) неком халогену (флуору), долазимо до засићеног елемента, који је особито стабилан и хемијски инертан, до племенитог гаса (неона). Са неонског атома лако се прелази на следећи атом, на натриум. Пошто је периферијска област неона попуњена, нови се електрон може сместити само изван ове области, која од периферијске постаје унутарња, одговарајући елемент је дакле моновалентно позитиван као и литиум.

Атомски број, дакле, расте за јединицу увек, па било да се остаје у границама једне периоде или да се прелази с једне на другу. Нова површинска област, која има само један електрон код натриума, садржи седам код хлора, осам код аргона. Један електрон више даје нов алкални метал, калиум: почиње да се образује нова периферијска област. Тако се објашњује периодичност у Менделејевој табlici: хемијске особине су сличне кад површинске области атома имају исти број електрона (распоредених вероватно на сличан начин по унутрашњости области).

Иста теоријска слика објашњује зашто је периодичност далеко од тога да буде строга:

У колико се атоми компликују, у толико узастопни слојеви електрона прекривају једни друге као меснати листићи код главице црнога лука, размена се електрона може вршити између разних зона. У исто време атоми постају тежи, већи, зоне постају обимније и садрже све већи и већи број електрона.

Правила валенце постају све нејаснија и нејаснија, негативне валенције почињу да ичезавају, нема више металоида, атоми садрже сувише електрона, површинске зоне су врло далеко од језгра, атракција за спољашње електроне постаје занемарљиво мала.¹⁾

У последњим периодама, правила валенце се могу заменити једним општијим ставом (Langmuir):

Атоми теже да се приближе најсуседнијој стабилној форми, што јест најближем племенишом гасу.

Тако атоми јода и телура теже, јединећи се с дугим атомима да приме један или два периферна електрона да би узели спољашњи облик атома ксенона: цезиум и бариум теже истом облику, али губитком електрона. Хемијско спајање је проста измена електрона између атома. У цезиум-јодиду, на пример, два атома су узела сваки стабилну форму са осам периферијских електрона, при чему је метал дао металоиду свој сувишни електрон.

Валенца и појам хемијске породице су јасни само за елементе који леже врло близу неком племенитом гасу. За остале све постаје непоузданије, сложеније. Особито елементи из групе VIII Fe, Pt и т. д.) који се налазе на једнаком одстојању од

¹⁾ У Гајслеровим цевима J.J. Thomson је нашао живине атоме који су изгубили осам електрона.

оба ретка гаса, имају у извесној мери пасивне особине угљеника. Отуда тежња за грађењем комплекса аналогних органским комбинацијама.

Може се узгред напоменути, да се слични елементи, у деловима периодне таблице који показују одступања, ређају у хоризонталне редове: V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, — ретке земље; и т. д., у место да се нижу у вертикалним колонама. То су аналогичне друге врсте од првих и које ће се једнога дана објаснити кад се буде боље познавала структура површинске зоне електрона. Langmuir је већ покушао да да такво објашњење).

Очигледно, разлози које смо изнели да бисмо поставили закон секвенције атомских бројева не вреде више за елементе пете и шесте периоде, али срећним случајем, долазе нови феномени, радиоактивне трансформације, да нам и за ове елементе наметну исти закон са још више снаге. Овде нам језгро својом експлозијом открива своје особине.

Постоје две врсте радиоактивних трансформација. Код једних, атом се распада губећи један α -делић, код других губећи један електрон (зрак β), кога шаље у простор са огромном енергијом (његова брзина може достићи 290000 км/сек.) Имамо пуно разлога да сматрамо да овај последњи потиче из језгра, као α -делић. *То је нуклеарни електрон.*

Посматрајмо прво трансформацију при којој постају α -зраци.

Језгро, распадајући се, губи једно језгро He , то јест *два позитивна елементарна пуњења*. Његов атомски број N_a умањује се за две јединице. Ако је закон секвенције атомских бројева још тачан, можемо прорећи да ће се оно померити за два места у назад у Менделеејевом периодном систему.

Експериментално то баш и потврђује у свима случајевима (Soddy). Тако радиум, земноалкални метал, постаје еманација, племенити гас.

Обрнуто, код трансформације са β -зрацима, језгро губи један негативни електрон, његов атомски број (његово позитивно пуњење) се повећава за јединицу. Оно се помера у напред за једно место у серији елемената. Тако Ur X који прати торинум у његовим реакцијама, даје после двеју узастопних трансформација са β -зрацима, Ur II, који је идентичан са Url.

Знамо, дакле, да атомски број расте за јединицу кад се иде од једног елемента ка другом, с једног краја серије на други.

Да бисмо коначно утврдили ове бројеве, треба испитати случај првих елемената из таблице, водоника и хелиума. У место хелиума се не сумња: то је инертан гас који непосредно претходи литиуму. Не сумња се ни у његов број електрона: има их два. То можемо потврдити са квази-сигурношћу. α -делићи, маколико била њихова енергија (која је огромна), маколики били притисци који они трпе у моменту изузетних судара (а који достижу до 5 кгр.), немају никад више од два елементарна пу-

њења. Позната су три облика хелиума, He , He^+ , He^{++} (α -делић), и ниједан више. Атомски број хелиума је дакле два¹). Што се тиче водоника, зна се већ поодавно да је његов атомски број јединица. То је J. J. Thomson закључио године 1911 из својих огледа о позитивним или каналским зрацима, који постају услед електричних пражњења у гасовима. Никад се није могао видети јон водоника, који би имао више од једног позитивног пуњења, а број посматрања је знатан.

Прва електронска зона се разликује од следећих: она се састоји само из две корпускуле.

Што се тиче језгра, H носи позитивно елементарно пуњење $++$ He носи два, Li три и тако даље.

Атомски број елемената једнак је редном броју, кога исти носи у Менделјејевом систему.

За бакар је редни број 29. Као што смо видели, Chadwick је директним мерењем нашао $N_a - 29,3$. Слагање је дакле потпуно. Исти је број најзад нашао и Moseley приликом проучавања спектра Рентгенових зракова (видети § XI).

Битна величина, која је меродавна за серију елемената јесте пуњење језгра, атомски број, а не атомска маса. Тако се објашњују инверзије, које су тако дуго узнемиравале хемичаре: $\text{Ar} - \text{K}$; $\text{Co} - \text{Ni}$; $\text{Te} - \text{J}$.

Треба да учинимо корак даље. Знамо од 1913 да се по каткад на истом месту периодичне таблице смештају више елемената, чије су атомске масе различите, али чије се физичко-хемијске особине скоро не разликују: то су *изотопи* елементи. Њихова језгра могу имати различите структуре и масе; ако носе исто тотално електрично пуњење (алгебарски збир позитивних и негативних пуњења), њихови хемијски афинитети, њихови физички карактери, њихови спектри светлости и зракова X су исти².) *Те спољне особине су сасвим одређене распоредом електрона у атому, што јесте структуром електричног поља које у њему влада, или, у крајњој анализи пуњењем језгра.* Атомска маса, дакле, постаје величина другоразредног значаја.

Једино извесни дубљи феномени, којима је баш само језгро седиште, радиоактивни феномени, зависе од његове унутарње конституције, а не од његовог електричног пуњења. Управо ти феномени су нам и најпре омогућили да разликујемо изотопе и показали су нам их (Soddy и Fajans). Од како је појам

1) Исти нам закључак намеће и чињеница да α -делићи не емитују никакву врсту светлости, никакав спектар. Они немају више електрона, способних да зраче. Све ове идеје потврђене су уосталом строго резултатима Bohr-а и Moseley-а (Видети § VII и § XI).

2) Извесне особине које директно зависе од масе језгра мењају се лагано од једне до друге изотопе. Видети напр. утицај масе на спектралне пруге (§ VIII) али те промене су слабе.

изотопије проширен многи обични елементи су разложени (J. J. Thomson и Aston¹). Данас стварно прости елементи изгледају изузеци.

Да укратко кажемо, ми смо дошли до следеће концепције атома:

Врло мало језгро (10^{-13} до 10^{-12} см), сложено, носи позитивно пуњење $N_a e$, где је e пуњење електрона, N_a атомски број или редни број у периодном систему. Електрони који неутралишу ово пуњење, круже око језгра на минималним растојањима из реда величина 10^{-10} см. и максималним из реда 10^{-8} см. Они се ређају у концентричним слојевима који се узајамно препокривају. Од последњег периферијског слоја зависе хемијски и светлосни феномени. На против, из *унушарњих* зона потичу Рентгенови зраци.

Две напомене да бисмо завршили овај параграф:

1^o Зашто алкалије, које су тако сиромашне у перифериским електронима, јер имају само један, лако отпуштају овај последњи док халогени, који су богатији у њима, имају их седам, теже да узму и осми? Одговор је прилично прост, бар са квалитативне тачке гледишта: истовремено кад расте број електрона, расте и пуњење језгра, па дакле и привлачна сила која делује на електроне. Отуда, у колико се даље иде у једној периоди, атом се скупља и његов се пречник смањује²). Електрони су све тешње и тешње везани за језгро, они имају све мању и мању тенденцију да се одвоје од њега.

2^o Ако посматрамо атомске бројеве племенитих гасова чији је површински слој испуњен, видећемо да ти бројеви подлежу једном простом закону (Rydberg, 1914).

	Хелиум	неон	аргон	криптон	ксенон	еманација								
	2	10	18	36	14	86								
2	1^2	$+$	2^2	$+$	2^2	$+$	3^2	$+$	3^2	$+$	4^2	$+$)	²

Немогуће ми је да овде повлачим консеквенце, доста неодређене уосталом, али интересантне из више разлога, које је Langmuir извео из овог значајног нумеричког закона.

Тај закон показује дубоки ред који влада у атомима.

V Стабилност атома.

Покушајмо да сад прецизирамо слику коју смо себи створили о атомима. Електрони, које привлачи језгро обрнуто пропор-

1) Видети елементе обухваћене великом заградом у табли на стр. 8.

2) Експериментално потврђује скупа узев али, не апсолутно Атомска запремина израчуната како је то учинио Lothar Meyer, опада сагласно са теоријом, на почетку сваке периоде, па потом расте. Данас изгледа, према непосредним и скорим мерењима Bragg-а, да, уместо да расте та атомска запремина *осишаје скоро константна почев од групе IV до решких гасова закључно*. У сваком случају она престаје да се смањује почев од групе III или IV Ту је тешкоћа коју теорија још није решила.

2) $2=2\cdot 1^2$; $10=2(1+4)+2(1^2+2^2)$; $18=2(1^2+2^2+2^2)$ итд.

ционално квадрату растојања, не могу бити у равнотежи под дејством самих електростатичких сила.

Два се пута отварају пред нама :

Први иде стопама Лорда Kelvin-а и sir J. J. Thomson-а. Он нас доводи до статичке теорије атома. Али како је позитивно језгро врло мало, равнотежа је могућа само ако се уведу нове силе, магнетног порекла, на пример, то су управо учинили амерички физикохемичари Lewis и Langmuir. Али маколико да се интересантни њихови радови, пуни оштроумних опаски чије су проучавање намеће хемичарима, маколика била простота њиховог атомског модела (претставе које нам он уноси у дух су геометријског, статичког реда) ми се не можемо одлучити да их следимо. У ствари њихова теорија *чисто квалишашивна*, слаже се са најразличнијим чињеницама хемије само уводећи на сваком кораку нове хипотезе.

Вратимо се дакле са Bohr-ом динамичкој концепцији атома, концепцији sir E. Rutherford-а: електрони круже око језгра; центрифугална сила пак, *сила инерције*, уравнотежује електричне силе.

Али онда се појављује малочас поменута тешкоћа: стално убрзање електронâ, који сваког часа теже ка позитивном центру, прати зрачење. Атом није стабилан.

Морамо, дакле, са ове тачке гледишта, увести још *једну доцунску хипотезу*. Из непознатог разлога, треба да елиптичне путање електрона око језгра буду прелажене без зрачења, да буду *стационарне*, то јест стабилне.

У моменту кад је Rutherford постављао своју нуклеарну теорију атома, знало се већ да се феномени зрачења не покорвају вопште једначинама електромагнетне теорије Maxwell-а и Lorentz-а. Знало се нарочито да искуство у многим случајевима не потврђује основни закон, по коме свако убрзање прати емисија једног таласа. Од 1900 развила се једна нова теорија; она је мало по мало решила велики број противречности које је искуство открило између чињеница и класичних идеја. То је теорија кванта M. Planck-а. Било је природно дакле помислити на кванте да бисмо допунили нашу слику о атому. У исто се време могла предвидети могућност објашњења емисије спектралних пруга и њихово груписање у серије — проблем који је од дуже времена занимамо физичаре и за који се знало да се не може решити класичним методама.

VI Кванти. ¹⁾

Хипотеза кванта показује два аспекта.

1^o Да би се повело рачуна о расподели енергије у спек-

1) У даљем излагању често ће бити говора о фреквенцији периодичних феномена, светлосних осцилација, ротација електрона. То је број потпуних вибрација (или револуција) изведених у једној секунди. Алтернативна струја од тридесет периода у секунди има фреквенцу $\nu = 30$ њена периода

$$\text{је } T = \frac{1''}{30} = \frac{1}{\nu}.$$

тру црног тела, *аисолушно је пошребно*, замислити да материја може измењивати енергију са етром само у дисконтинуираним скоковима, у *кваншима*. Кад атом зрачи светлост фреквенце ν , он може то чинити само помоћу низа кохерентних таласа који скупа односе коначну количину енергије (Planck-ов закон, кога је Einstein уопштио).

$$W = h \nu \quad (a)$$

Он не може да емитује неку фракцију те енергије.

Феномени апсорције покуравају се вероватно истом закону дисконтинуитета.

Коефицијент h из једначине (a) не зависи од природе светлосних центара, То је *универзална константа*: Planck ју је могао израчунати 1900 г. помоћу података које су му дали огледи, у принципу врло прости, о зрачењу црног тела (мерење тоталне енергије иззрачене на некој датој температури, варијација енергије одређене боје са температуром).

Служећи се најновијим подацима, добићемо рачунајући на тај начин $h = 6,55 \cdot 10^{-27}$ ерг сек.

Хипотезу дисконтинуираног зрачења намећу нам чињенице. Она се могла, у много случајева, подврћи директној контроли експеримента.

Посматрајмо на пример, Coolidge ову цев. Електрони које изашиље усијана волфрамова жица (катода), у што је могуће потпунијем вакууму, крећу се под утицајем електростатичког поља знатном брзином и падају на антикатоду. Између ове и катоде постоји потенцијалска разлика V , која према самој својој дефиницији мери енергију, коју електрично поље саопштава јединици електричног пуњења за време док ова путује кроз цев. Према томе, у моменту свог пада на антикатоду, електрони, чије је пуњење e , имају енергију $W = e V$.

Антикатода, бомбардована овим пројектилама, изашиље Рентгенове зраке. Ови последњи граде у опште доста копликован спектар, који се може анализирати помоћу спектрографа са кристалном плочицом: сем карактеристичних пруга метала са антикатоде, налази се *коншинуалан спектар*, који има потпуно оштру *границу* са стране кратких таласних дужина.

Фреквенца ν те границе може се врло тачно измерити. Кад се повећа волтажа Coolidge-ове цеви, види се како се она правилно повећава, помера у спектру, следивући закону пропорционалитета, који је просто Planck—Einstein-ов закон.

$$Ve = W = h\nu \quad (a')$$

Ова је једначина математички израз чињенице, која је позната још од открића X-зракова: тврдина зракова расте са волтажом¹⁾. Она је потврђена са крајном строгошћу, између осталих, и од Blake-a и Duane-a у Америци. За сада управо ти експерименти омогућују вероватно најпростије и најпрецизније мерење Planck-ове константе h . Стављајући за пуњење електрона вредност

1) Тврдина, продорност, расте кад опада таласна дужина.

коју је директно добио Millikan, $e=4,774 \cdot 10^{-10}$ електростатичких јединица, амерички физичари нађоше $h = 6,555 \cdot 10^{-27}$ C. G. S.

Ја нарочито подвлачим дубоки значај ових чињеница које нам, да тако речем, омогућују да прстом додирнемо кванте: ма- каква била њена природа, антикатада ударена електронима са кинетичком енергијом W , не изашиље ни једно друго зрачење веће фреквенце од $\nu = \frac{W}{h}$. На тој граници нагло почиње континуалан спектар. Затим, ако је W доста велико, долазе карактеристичне антикатодине пруге, али само оне чија је фреквенца нижа од фреквенце границе ν континуалног спектра.

Сасвим се слични феномени јављају код изашиљања видљиве светлости.

Узмито малу Coolidge-ову цев напуњену, на пример, натриумовом паром под ниским притиском, успоставимо између металног конца (катоде) и аноде потенцијалску разлику, коју ћемо лагано увећавати. Испрва не видимо ништа. Али почев од једне потпуно одређене вредности потенцијала V атоми натриума постају светљиви, почињу да изашиљу пругу D^1). Та потенцијална разлика, која се означаје именом резонантног потенцијала пруге D , везана је са фреквенцом изаслате пруге једначином (a')

$$eV = h \nu.$$

Таласна дужина λ пруге D је $0,589 \mu$; $\nu = 5,09 \cdot 10^{14}$. Planck-ова једначина даје дакле

$$V = \frac{h\nu}{e} = \frac{6,55 \cdot 10^{-27} \cdot 5,09 \cdot 10^{14}}{4,77 \cdot 10^{-10}} = 6,94 \cdot 10^{-2} \text{ E. C. J.} = 6,94 \cdot 10^{-2} \cdot 300 = 2,08 \text{ волти}^2).$$

Експериментат даје 2,12 волти. Слагање је врло добро. Друге металне паре дају сличне резултате (Franck и Hertz, Tate и Fote, Davis и Gucher, Mac Lennan, итд.)

Феномени апсорције, трансформације светлосне енергије у кинетичку, подлежу сличним законима. Светлост или X-зраци, падајући на неки метал, изазивају емисију катодних корпусула. Ови су последњи бачени у простор кинетичком енергијом, која је везана са фреквенцијом Planck-Einstein-овом једначином или неком њој обликом врло блиском. Ти феномени управо чине фотоелектрични ефект и на њих је Einstein од 1905 применио теорију кванта. Тачна експериментална потврда је врло скорашња (Millikan за светлост; de Broglie за зраке X).

2^o Ево сад једног другог аспекта нове теорије.

Као што смо мало пре видели, материја зрачи само у *квантима*, који односе у простор коначну енергију.

Отуда следује да се један атом мора налазити у извесним нарочитим околностима да би могао да зрачи. На пример, он може емитовати спектралну пругу френсвенце ν , само ако има

1) Оглед није баш тако прост. Први резултати ове врсте нађени су код живине паре.

2) Једна електростатичка јединица потенцијала вреди 300 волти.

бар квантум енергије који одговара $h\nu$. Шта више, и кад се емисиони механизам поремети, емисија се продужује до краја.

Обрнуто ако је тај механизам усталасан, електрична пуњења која образују атом, могу подносити убрзавања, а да при том не буде зрачења, враћати се у своје почетне положаје, описивати затворене путање не измењујући енергију са етром. Она дакле неодређено дуго чувају своју почетну енергију. Такве ће путање бити стабилне, или, како то Bohr каже, *стационарне*.

Све ово важи не само за електроне него и за позитивне центре, који се од електрона разликују само својом већом масом.

Видимо дакле да хипотеза о зрачењу у квантима доводи до егзистенције стационарних путања. Сад треба потражити које су те путање. Било је доста тешко наћи које динамичке услове оне задовољавају. Историјски случај је управо одредио развој наших идеја по том питању. Тек мало по мало могао се направити ред. Дошло се до једног врло општег, али и врло апстрактног става и за који немамо у нашој уобразиљи никакву физичку претставу. Покушајмо да кажемо о томе коју реч.

Посматрајмо најпре, са Planck-ом, електрични осцилатор који је способан да производи периодичне вибрације потпуно одређене фреквенције ν . (То је оно, што Planck назива *резонатором*). Налази се да управо атоми чврстих тела изводе око својих равнотежних положаја периодичне вибрације¹⁾ и који чине резонаторе у Planck-овом смислу.

Мало пре смо видели да енергија светлосних, (у ствари електромагнетских) осцилација у етру, чија је фреквенција ν , може расти или опадати само у квантима $h\nu$. Изгледало је сасвим природно проширити тај закон и на резонаторе, који су осцилујући системи²⁾ и чија је енергија чак врло вероватно електромагнетске природе. Рећи ћемо дакле: стање мира, за које је енергија равна нули, очевидно је стабилно стање. Резонатор фреквенције ν моћи ће се усталасати само кад апсорбује квант

1) У ствари те вибрације нису једне једине фреквенце ν , већ све граде један хармониски спектар. Може се ради упрошћења занемарити тај спектар и једној врсти атомских резонатора придати једна једина фреквенца вибрације ν . То баш чини Einstein у својој теорији о специфичним топлотама (1905). Постојање хармонијских спектра не мења ништа у принципима, а врло мало у резултатима.

2) Ова хипотеза изгледа још природнија ако се, са Planck-ом и Einstein-ом, претпостави да такви резонатори могу емитовати или апсорбовати само таласе чија је фреквенца једнака њиховој сопственој фреквенци ν . Прелаз из једног у друго стабилно стање бива дакле емисијом или апсорпцијом кванта светлости. Ова последња претпоставка потпуно је потврђена експериментом код случаја чврстих тела. Фреквенце апсорпционих трака и оптичке емисије чврстих тела (заостали зраци) једнаке су онима, које предвиђа теорија специфичних топлота (Nernst) за сопствене вибрације атома или теорија еластичности. Напротив, ротационе периоде електрона око позитивног језгра атома имају само доста далек однос са периодама спектралних прага које они могу емитовати (§ VIII).

$h\nu$; он ће тада доспети у ново стање, стање вибрације, које ће исто тако бити стабилно, јер му треба да емитује или апсорбује цео један квант да би изишао из њега. Енергија тог новог стања биће $h\nu$. Апсорпција другог квантума доводи нас до трећег стабилног стања енергије $2 h\nu$, и тако даље. Стационарна стања једног резонатора фреквенције ν биће дакле одређена условом $W = nh\nu$ где W претставља енергију, а n ма који цео позитиван број. Ова једначина је основа Einstein-ове теорије специфичних топлота. Њене консеквенције слажу се са експерименталним резултатима.

Сада би се могло покушати, да се овај основни закон прошири и на кретања електрона у унутрашњости атома иако она нису осцилације, већ ротације око позитивног језгра. Стационарне путање биће још оне које задовољавају једначину $W = nh\nu$ где је ν фреквенција револуције електрона око језгра.

Вероватно је да се та хипотеза указала Bohr-у, али њене консеквенције искуство није потврдило.

Bohr је лутао неко време и најзад изразио услов који испуњавају стационарне путање у облику, који је већ нешто раније открио Nicholson. Он је уочио да тај услов, кад се примени на осцилаторне феномене, има исту вредност као и онај Planck-ов. Од тада, Bohr-ов и Nicholson-ов услов су генералисали Sommerfeld, Planck, Schwarzschild, Einstein. Данас, ми имамо став исто толико ригурозан колико и елегантан из хипотезе кванта, став који се примењује без изузетка на све посебне случајеве. По несрећи он се јавља у врло апстрактној форми, јер уводи појам *акције*, кинетичке енергије помножене временом, или количине кретања помножене дужином, основне механичке величине, која игра исто тако значајну улогу у теорији релативитета као и у теорији кванта, али са којом не можемо још слободно баратати. Не треба се чудити што се види, да се овде јавља појам *акције*, пошто је константа h , која претставља енергију помножену временом, атом акције, физичка јединица исто толико важна колико и електрон, јединица електричног пуњења.¹⁾

1) Ето једног од најопширнијих ставова. Ако је дат један материјални систем чије стање зависи од извесног броја променљивих или независних параметара (координата, углова итд.), све стационарно кретање тог система задовољава следећи услов: Кад један макоји од параметара q поново дође на своју првобитну вредност, опише затворени циклус, акција коју је он ставио у покрет за време свог кретања је цео умножак од h . Акција стављена у покрет параметром q изражава се интегралом $\int p dq$, који обухвата цео циклус вредности кроз које је прошао параметар; q је количина кретања -- или тачније момент -- који одговара параметру q . Имамо дакле $\int p dq = nh$. Ако има ν независних параметара има ν услова овог облика.

Лако се види да је једначина (1) дословна примена овог услова за случај кружног кретања. Узмимо за независни параметар q дужину лука, који описује електрон на кругу почев од маког почетног положаја, одговарајући момент p је количина кретања mv која је константна, $\int p dq = mv \int dq = mv \cdot 2\pi a$, јер је интеграл узет дуж целог круга.

Ограничићу се овде да изнесем оно што постаје општи услов стационарних путања у случају где једно покретно тело (електрон) кружи, описујући кружну путању полупречника a , око атрактивног центра (језгро). У том случају, *акција коју електрон ставља у покрет док опише један потпун круг, једнака је производу из количине кретања mv (која остаје константна)¹⁾* и обима круга $2\pi a$.

Тај производ је управо једнак неком умношку од h

$$mv \cdot 2\pi a = nh \quad (1)$$

Ми ћемо мало доцније искористити ову једначину коју треба поставити као полазну тачку, и ако је у овај мах не можемо ничему прикључити. Може се без бојазни рећи да за сада нико не појима дубоки смисао закона кванта. Све што се о њима зна, то је да су њихове консеквенције у слози са искуством у свима случајевима, где се теорија могла развити до краја.

VII. Серије спектралних пруга.

Пре но што видимо како су горње хипотезе омогућиле Bohr-у да прецизира наше идеје о атомима, треба укратко проучити експерименталне резултате које је он довео у склад својом теоријом и који су га стално водили у његовим истраживањима.

Ево битне чињенице: пруге најпростијих спектра групишу се у *серије* које се поковавају сасвим нарочитим законима.

Прва откривена серија и најважнија је водоникова серија. Добро познате пруге $H\alpha$, $H\beta$, $H\gamma$, $H\delta$ и ултраљубичасте пруге које следе (од њих је познато свега 28, последње само у извесним спектрима звезда) ређају се према једном врло прецизном закону, Balmer-овом закону (1885).

Придајмо по један број свакој од узастопних пруга, у реду по коме се јављају, од црвеног ка ултраљубичастом. Узмимо две координатне осе, пренесемо редне бројеве као апсцисе.

Као ординате требало би пренети фреквенце ν , али је много згодније узети бројеве које нам експеримент директно даје и који су пропорционални фреквенцама, реципрочне вредности

таласних дужина у празном простору $\nu' = \frac{1}{\lambda} = \frac{\nu}{c}$, где је c брзина светлости у празном простору.²⁾

Читалац може проверити да је Planck-ова једначина, кад се односи на праволинијски осцилатор, други посебни случај општег закона. Акција стављена у покрет за време једне потпуне осцилације једнака је енергија W умноженој периодом T . Имамо дакле $WT = nh$, па пошто је $T = \frac{1}{\nu}$, $W = nh\nu$.

1) Једина сила која дејствује на електрон, привлачење језгра, је радијална, управна на путању, па је према томе неспособна да промени брзину v . Ова последња остаје константна по апсолутној вредности и мења се само по правцу.

2) Потсећам на добро познате релације $\lambda = cT$ (где је T периода) и

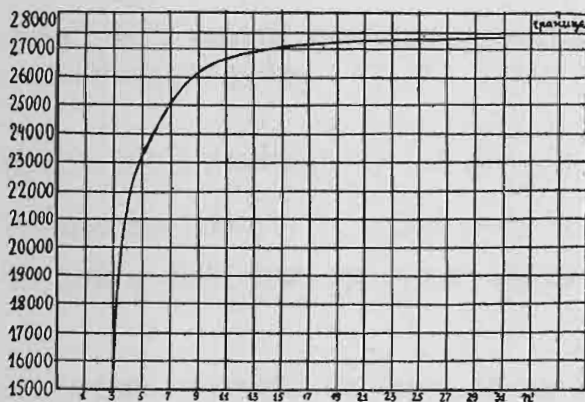
$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{c}{\lambda}$$

ν' је оно што се, са Ritz-ом, може назвати бројем таласа, то је број таласања које на зраку заузимају дужину од једног, сантиметра. Дужине таласа λ , па према томе, бројеви ν' су потпуно добро познати, на милионити део њихове вредности. Брзина светлости c је много несигурније позната, са могућом грешком од 10/00; боље је дакле да се и не уводи у рачуне.

Као што се види на слици 1, тако добивене тачке за различите пруге ређају се по једној врло правилној кривој. Њена је једначина релативног простог облика, она гласи

$$\nu' = K \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n'^2} \right), \quad K = 109677,69.$$

n' претставља апсцису тачке са ординатом ν' . Занимају нас само целе вредности редног броја n' и, између ових последњих оне које дају позитиван број таласа ν' . Можемо дакле узети за n' све целе вредности више од два (за $n' = 2$; $\nu' = 0$): $n' = 3, 4 \dots$ итд. Свакој од њих одговара једна пруга. Пруга $n' = 3$ је основна пруга, прва у серији, H_{α} .



сл. 1.

На кривој се може приметити да се серија не пружа у бесконачност ка ултраљубичастим, већ има границу, којој теже пруге, збијајући се све више и више, уколико њихов редни број n' расте. Слика 2 добро показује правилан распоред пруга и њихово нагомилавање ка једној граници L , којој се оне приближују постајући све мање и мање јасне.

Број таласа ν'_{∞} те границе добија се стављајући $n' = \infty$ горњу формулу:

$$\nu'_{\infty} = \frac{K}{4}$$

Величина K је фундаментална у овој теорији, зове се Rydberg-ова константа, она се поново сретa, као што ћемо видети, у свима формулама спектралних серија.

Код водоника се налази још једна ултраљубичаста серија (Lyman)

$$\nu' = K \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n'^2} \right) \quad n' = 2, 3, 4 \dots,$$

и једна инфрацрвена серија (Paschen)

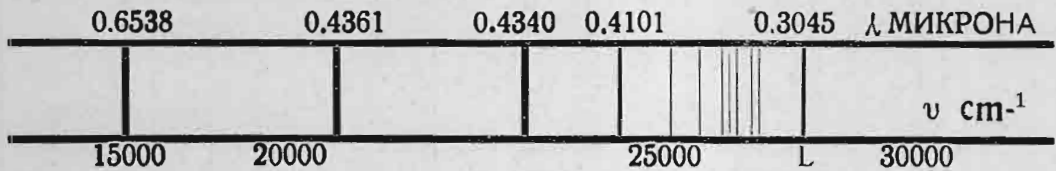
Крива и горња једначина изражавају *Balmer*-ов закон који је вероватно најтачнији из целе физике: бројеви таласа израчунати по овој формули слажу се са оним измереним за ошприлике на $\frac{1}{200000}$ од њихове вредности.

$$\nu' = K \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n'^2} \right) \quad n' = 4, 5 \dots;$$

тако да се, са Ritz-ом, може рећи да су све могуће пруге водоника даје општом формулом

$$\nu' = K \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{n'^2} \right), \quad (2)$$

где су n и n' два макоја цела броја.



сл. 2

Код хелиума се налазе сличне серије које су дуго времена придаване водонику. Али Bohr, из теоријских разлога, које ћете мало после лако разумети, није оклевао да у њима препозна

зрачење хелиумових моновалентних позитивних јона He⁺. Експеримент је потврдио његове идеје. Те су серије претстављене формулама

$$\nu' = 4 K \left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n'^2} \right) \quad n' = 5, 6 \dots \text{ (Pickering-ова серија)}$$

$$\nu' = 4 K \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n'^2} \right) \quad n' = 4, 5, 6 \dots \text{ (Fowler-ова серија)}$$

Константа K задржава скоро исту вредност као и код водоника.

Пруге јона He⁺ могу се дакле изразити општом формулом сасвим сличном оној Balmer-Ritz-овој (2):

$$\nu' = 4 K \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{n'^2} \right) \quad (2^1)$$

Много других елемената, нејонизовани хелиум, алкалије, земноалкалије и т. д., претстављају серије које се покуравају формулама истог типа, али компликованијим.

Увек су фреквенција ν или број ν' дати, као у формули (2) разликом двају чланова од који сваки зависи од по једног целог броја n и n' . Та је разлика увек умножена Rydberg-овом константом K , која је једна универзална константа.

VIII. Bohr-ова теорија.

Управо горње опажање је и послужило као полазна тачка Bohr-овом раду: фреквенца је дата разликом двају чланова. Упоредимо ово са Planck-Einstein овом једначином $W = h\nu$, или пак (делећи обе стране са h) $\nu = \frac{W}{h}$. Природно долазимо на то да ову последњу напишемо у облику разлике: $\nu = \frac{W - W'}{h}$, и да је интерпретирамо на следећи начин: $W - W'$ претставља енергију коју

зрачи атом при прелазу из једног стационарног стања у друго W и W' су дакле енергије тих двају стања.

Доведени смо дакле са Bohr-ом до следеће концепције:

Стационарне пушање не зраче; емисија пруге бива онда, кад електрон прелази с једне стационарне пушање на другу; фреквенца те пруге је пропорционална паду енергије, који праши тај прелаз.

Остаје да се израчунају енергије стационарних стања атома.

Покушајмо да изразимо са свом могућом јасношћу хипотезе, које служе као основа овог рачуна.

1^о Динамичка равнотежа атома у њиховим стационарним стањима подлеже обичним законима механике (или општије механике принципа релативитета, кад су брзине врло велике (с. ф. § XI). Силе које дејствују између електрона и језгра су Coulomb-ове електростатичке силе.

2^о *Услов стационарних пушања ставља се просто и јасно изнад механичких закона.* Увек смо принуђени да истовремено узимамо за основу теорије хипотезу кванта и принципе механике, који изгледају на први поглед да стоје у контрадикцији. Вероватно је да те контрадикције нема, Нове идеје се не сукобљавају директно са класичним концепцијама, сем у једној тачки: теорији зрачења, емисије и апсорпције светлости.

3^о Електрон у атому има исте особине као и у слободном стању исто електрично пуњење, што је очевидно, исту масу што може изгледати чудноватије, али што нам је наметнуто чињеницама.¹⁾

Пошав од ових хипотеза, рачун се може извести до краја само у једном врло простом случају, где постоји језгро пуњења $+ N_a e$ око кога гравитира само један електрон пуњења- e . То је случај водониковог атома, чије је језгро 1847 пута теже од електрона али има исто пуњење e ($N_a = 1$), или још јона

$+ \quad \quad \quad ++$
He (језгро He око кога гравитира један електрон, $N_a = 2$).

Орбита електрона је онда уопште елипса. Механички проблем се онда не разликује од онога код кретања планета (Kepler, Newton).²⁾

* Ради упрошћења рачуна, посматраћемо само кружне путање. Нека је a полупречник једног од тих кругова. Услов кванта постаје онда једначина (1).

Сила која држи електрон уз језгро је електростатичко привлачење $\frac{N_a \cdot e^2}{a^2}$, где је a полупречник орбите.

1) Ово ће се боље разумети мало доцније. Резултати Cotton-а и Weiss-а о Zeeman-овом ефекту, већ су нас сродили са том идејом.

2) Читалац може по потреби прећи преко следећег рачуна, који садржи само најелементарније алгебарске операције. Поново почети читање од звезде, страна 27.

Електрон би пао на језгро, под утицајем те силе да га на раздаљини не одржава центрифугална сила чија је вредност добро позната $\frac{mv^2}{a}$; v је брзина translације електрона по његовој путањи. Напишимо да постоји равнотежа између центрифугалне силе и електростатичког привлачења. Добићемо једначину

$$(3) \quad \frac{mv^2}{a} = \frac{N_a e^2}{a^2}$$

Означимо са f фреквенцу револуционог кретања, број окрета електрона око језгра извршених у секунди, са T трајање једног од тих окрета $f = \frac{1}{T}$.

Брзина v је једнака количнику из дужине пређеног пута (то јест једног скрета $2\pi a$) и времен^а T .

$$(4) \quad v = \frac{2\pi a}{T} = 2\pi a f.$$

Једначина путање (3) може се дакле написати

$$(5) \quad 4 \pi^2 a f^2 m = \frac{N_a e^2}{a^2}$$

Израчунајмо тоталну енергију система w , то јест суму кинетичке и потенцијалне енергије. Кинетичка се енергија, најпре, пише према једначини (4)

$$w_{\text{кин.}} = \frac{mv^2}{2} = 2\pi^2 a^2 f^2 m$$

или водећи рачуна о једначини (5) — чије се обе стране помноже са $\frac{a}{2}$

$$w_{\text{кин.}} = \frac{N_a e^2}{2a}$$

Потенцијална енергија потиче од електростатичког *привлачења*. Она је максимална кад је електрон што је могуће даљи од језгра и опада у колико му се исти приближује. Означимо са w_∞ максималну потенцијалну енергију, за један електрон који је бескрајно удаљен од језгра; имаћемо према добро познатим формулама из електростатике и теорије привлачења:

$$w_{\text{пот}} = w_\infty - \frac{N_a e^2}{a}$$

Отуда, тотална ће енергија имати вредност

$$(6) \quad w = w_{\text{кин}} + w_{\text{пот}} = w_\infty - \frac{N_a e^2}{2a}$$

то је све што нам даје чиста механика.

Треба сад увести једначину (1) из теорије кванта, која ће одредити између свих могућих путања оне које су стационарне.

Количина кретања mv је према једначини (4), $2\pi a f m$.

Услов стационарних путања добија онда облик

$$2 \pi a f m. 2 \pi a = nh, \text{ или боље}$$

$$f = \frac{nh}{4\pi^2 m a^2}$$

Замењујући у једначини (5) f овом последњом вредношћу,

добићемо
$$\frac{4 \pi^2 a n^2 h^2 m}{(4\pi^2)^2 m^2 a^4} = \frac{N_a e^2}{a^2}$$

или после очигледних скраћивања:

$$(7) \quad a = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 m N_a e^2}$$

Полупречници стационарних орбита штоје међу собом у односу квадрата целих узастопних бројева n. Најзад унесећи вредност (7) за полупречник у једначину енергије (6)

$$(8) \quad w = w_\infty - \frac{2\pi^2 m N_a^2 e^4}{n^2 h^2}$$

Колико стационарних орбита, толико целих бројева n, толико вредности — потпуно одређених — за полупречник a и енергију w.

*Кад електрон прелази са једне стационарне путање карактерисане бројем кванта n, на неку другу путању чији је број кванта n', настаје пад енергије

$$W = w_n - w_{n'} = \frac{2\pi^2 m N_a^2 e^4}{h^3} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{n'^2} \right)$$

Ова једначина подсећа већ много на Balmer-ову и Ritz-ову. Остаје да се доведе у везу фреквенца са енергијом. Примена Planck-ове формуле $\nu = \frac{W}{h}$ намеће нам се. Била је то и истинска црта Bohr-ова генија да измисли увођење по други пут величине h. На тај начин он добија за фреквенцу емитоване пруге

$$(9) \quad \nu = \frac{W}{h} = \frac{2\pi^2 m N_a^2 e^4}{h^3} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{n'^2} \right)$$

и за број таласа

$$(10) \quad \nu' = \frac{\nu}{c} = \frac{2\pi^2 m N_a^2 e^4}{ch^3} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{n'^2} \right) = N_a^2 K \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{n'^2} \right)$$

где је константа K независна од природе атома који зрачи. Ако за водоник ставимо $N_a = 1$, ми ћемо понова наћи Balmer-Ritz-ову формулу.

Број $K = \frac{2\pi^2 m e^4}{ch^3}$ може се израчунати a priori према подацима Millikan-а $e = 4,774 \cdot 10^{-10}$, Planck-а $h = 6,55 \cdot 10^{-23}$ и разних експериментатора који су мерили однос пуњења и масе код електрона $\frac{e}{m} = 1,765 \cdot 10^7$ електромагнетских јединица $= 5,3 \cdot 10^{17}$ електростатичких јединица.

Овим се рачуном добија $K = 1,0955 \cdot 10^5$

Експеримент даје $K = 1,0967769 \cdot 10^5$.

Слагање је потпуно.

Што се тиче пречника узастопних орбита, они се могу израчунати из једначине (7), за орбиту најближу језгру ($n = 1$) налази се $2a_1 = 1,1 \cdot 10^{-8}$ см, за следећу, крајњу орбиту Balmer-ове серије ($n = 2$) $2a_2 = 4,4 \cdot 10^{-8}$ см, и т. д.

Кинетичка теорија предвиђа за водоников молекул H_2 пречник од $2,3 \cdot 10^{-8}$ см, што није далеко од четвороструког умношка

полупречника a_1 . Али ово је можда само проста коинциденција. Не треба побркати пречник прве орбите са пречником сфере атомске акције.

Формула (10) примењује се на јон He^+ , који се од атома H разликује само двоструким пуњењем језгра, $N_a = 2$. Отуда

$$v' = 4 K \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{n'^2} \right)$$

то је формула написана горе. Сада је јасно зашто Pickering-ову и Fowler-ову серију треба приписати хелиуму.

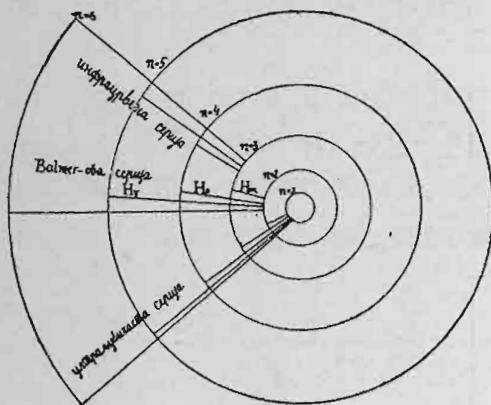
Укупно узев, ево како можемо замислити емисију једне спектралне пруге водоника:

Електрон једног атома, услед судара са неким лутајућим електроном, или пак с неким другим атомом или пак апсорпцијом зрачења, стиче довољну енергију да се удаљи од језгра и да кружи на одстојању

$$a = \frac{n^2 h^2}{4 \pi^2 m e^2}$$

његово кретање је онда стационарно. Али изненада, под неким још непознатим утицајем, али вероватно врло slabим, он понова пада на путању $n = 2$ која претставља неку особиту стабилност. Овај пад прати *апсолутно монохроматично зрачење*, чија је фреквенца потпуно одређена разликом енергија између почетног и крајњег стања.

Шема на слици 3 показује које су орбите поласка и повратка између којих бивају емитоване разне пруге водоника.¹⁾ Свакој серији одговара потпуно одређена путања поласка; она која је најближа језгру и за коју је број кванта $n = 1$ одговара ултраљубичастој Lyman-овој серији, путања $n = 2$ Balmer-овој серији, $n = 3$ инфрацрвеној серији.



сл. 3.

Знамо орбите поласка и доласка електрона. Каква су његова интермедиарна стања? Који прецизни механизам врши емисију спектралне пруге? О томе не знамо ништа.

Све што знамо то је, да се извесна количина енергије диспонира и да се та енергија трансформује у монохро-

матичну светлост фреквенце $\nu = \frac{W}{h}$.

¹⁾ Није било могуће, на слици повећавати полупречнике стационарних орбита пропорционално са квадратима узастопних целих бројева. Последње орбите би требало да буду много више удаљене од језгра.

Стојимо пред атомом као деца пред аутоматом, коме не знају механизам. Знамо да кад у њега убацимо неки динар (извесну енергију W) добијемо неку еквивалентну посластицу (спектралну пругу $\nu = \frac{W}{h}$). Али то је све.

За друге спектре теорија је тежа. Могу се применити исти принципи, али су рачунске тешкоће огромне. Чим има више од једног електрона, појављује се проблем трију тела који, од пре два века, баца у очајање математичаре.

Па ипак доспело се до формула аналогних онима које нам је дао експеримент.

Општи механизам је увек исти: један електрон из површинског слоја удаљује се од атомског остатка да би описао више или мање удаљене стационарне орбите; поново пада на другу орбиту ближу језгру емитујући пругу.

Тако је разумљиво зашто се увек јавља Rydberg-ова константа. Увек се ради о светлосном електрону који се удаљује из атома, чије је тотално пуњење (оно из језгра и преосталих електрона) једнако e за неутралне атоме, $2e$ за моновалентне јонове и тако даље. За сада се морамо задовољити овим квалитативним резултатима.¹⁾ Међутим, Bohr је почев од својих првих мемоара, могао применити своју теорију на нове проблеме, наћи нова бројна слагања, о којима ћемо управо рећи неколико речи.

IX Привлачење језгра

Пре свега, при израчунавању пруга водоника и хелиумовог јона, можда вас је збунила једна важна поставка. Претпоставили смо непомично језгро. Дакле, његова доиста замашна маса није бесконачна у односу на масу електрона. Са сваком револуцијом овог последњег, оно се само обрне око тежишта целог атома.

Исправна теорија мора да води рачуна о овој лакој компликации. Рачун је прост. Механика доказује да су закони кретања електрона око тежишта атома потпуно исти као и око непомичног језгра. Треба просто у обрасцима масу електрона m

1) Од пре неког времена Landau, с једне стране, Franck и његови сарадници, с друге, дали су се на истраживање проблема хелиумовог нејонизованог атома, најпростијег после водониковог: језгро и два електрона. Теоријска израчунавања Landau-а су, разуме се само апроксимације, али она све више објашњавају старе емпиричке резултате, исто као и нове чињенице, које је открио Franck. Оба електрона не круже на једнаком одстојању од језгра, ма да њихове обе путање одговарају истом броју кванта $n = 1$. Атом хелиумов узима два различита облика: у једном најмање стабилном, орбите оба електрона су у једној истој равни; у другом њихове се равни секу. Тако се објашњавају два потпуно различита спектра, који су сваки посебно склопљени из потпуних серија а који су још одавна запажени код хелиума и некад приписивани двама различитим елементима хелиуму и пархелиуму. Положаји њихових пруга могли су се приближно израчунати по Landau-у. Електричне особина гаса (потенцијали резонанције и јонизације) слажу се грубо увек, са теоријом.

заменити резултујућом масом $\frac{m}{1 + \frac{m}{M}}$, где је M маса језгра.

Исту измену треба учинити у услову (1) за кванте.

Поправка је врло мала, пошто је $\frac{m}{M}$ увек мање од $\frac{1}{1840}$

Ништа се више нема мењати у теорији.

Из ове пак мале измене произилази једна важна последица, која се може верификовати експериментом *Rydberg-ова константа K мења се од једног до другог елемента*.

Заменимо доиста у обрасцу (10) масу m резултујућом масом, добићемо за водоник

$$(11) \quad K_H = \frac{2 \pi^2 e^4}{ch^3} \cdot \frac{m}{1 + \frac{m}{M_H}}$$

где је M_H маса водониковог језгра; а за хелиум:

$$(12) \quad K_{He} = \frac{2\pi^2 e^4}{ch^3} \cdot \frac{m}{1 + \frac{m}{M_{He}}}$$

Однос масе електрона према водониковом јону $\frac{m}{M_H}$ познат је.

У ствари, огледи девиације катодних зракова помоћу електричних и магнетних поља, дају са однос, електричног пуњења према маси електрона, $\frac{e}{m} = 1,765 \cdot 10^7$ електромагнетских јединица.

С друге стране, Faraday — 9649,4 електромагнетских јединица — је пуњење једног атом-грама водоника, то ће рећи, 1,008 гр. Према томе се за однос пуњења према маси водониковог јона добија

$$\frac{e}{M_H} = \frac{9649,4}{1,008} \text{ E. M. J. } ^1)$$

Налази се:

$$\frac{m}{M_H} = \frac{e}{M_H} \cdot \frac{e}{m} = \frac{9649,4}{1,008 \cdot 1,765 \cdot 10^7} = \frac{1}{1847}$$

а за хелијум чија је атомска маса 4,00:

$$\frac{m}{M_{He}} = \frac{m}{M_H} \cdot \frac{M_H}{M_{He}} = \frac{1}{1847} \cdot \frac{1,008}{4,00}$$

Експерименти Paschen-ови верификовали су обрасце (11) и (12). Мерења изведена са највећом прецизношћу, која се могла достићи у спектроскопији — а знате да је она знатна — дала су:

$$(11') \quad K_H = 109677,691$$

$$(12') \quad K_{He} = 109722,144$$

О овим бројевима ћемо говорити мало доцније.

Кад је маса језгра врло велика, разломак $\frac{m}{M}$ се може занемарити, а једначина (10) се у потпуности примењује и Rydberg ова константа добија граничну вредност (стварно константну):

⁺
1) Једна мала поправка произилази из чињенице што је јон H лакши од атома H , зато што има електрон мање. Лако се о томе може повести рачуна, што је и учињено у крајњем резултату.

$$(13) \quad K_{\infty} = \frac{2\pi^2 e^4}{ch^3} m.$$

Врло простом елиминацијом извећу једначина (11) и (12) добија се:

$$(13') \quad K_{\infty} = 109737,11.$$

Видите да се језгро He може већ сматрати скоро као бескрајно тешко у односу на електрон. За све остале елементе Rydberg-ова константа има практично вредност K_{∞}^1

IX Израчунавање карактеристичних величина код електрона.

Горњи односи су врло важни са гледишта израчунавања констаната молекуларне теорије. Две величине K_n и K_{ne} дате су огледом скоро на један полумилионити део од њихове вредности. Знамо дакле две једначине — (11) и (12) — које везују три карактеристичне константе код електрона и атомског зрачења e , m и h .

Серија сасвим елементарних рачуна, простих алгебарских трансформација, даје полазећи од ових једначина следеће нумеричке резултате:

$$\frac{\text{маса електрона}}{\text{маса водоничног атома}} = \frac{1}{1846,9}$$

$$\frac{e}{m} = \frac{\text{пуњење електрона}}{\text{маса електрона}} = 1,7686 \cdot 10^7 \text{ Е. М. Ј.}$$

Директни експеримент даје $1,765 \cdot 10^7$.

Слагање је сјајно али не потпуно, остаје отступање од око $1,5\%$, које се врло добро објашњава. Пре свега, директна су мерења врло деликатна. Потом при израчунавању односа e/m јавља се разлика $K_{ne} - K_n$ врло мала у односу на сваки од ових бројева па, према томе лошије позната.

Да би се посебно израчунале три величине e , m и h , треба између њих наћи једну трећу релацију. Теорија спектра не даје нам таквих, које би се могле верификовати са довољном прецизношћу. Обично се даје величина електронског пуњења e , коју је Millikan директно одредио.

Може се и друкчије поступати и поћи од сваког директног мерења атомских величина, којих било.

Видели смо у § V да су Blake и Duane са крајњом тачношћу верификовали однос $W = h\nu$, код случаја Рентгенових зракова. Могу се употребити њихови бројни подаци, који постављају трећу емпиричку релацију између трију основних величина e , m и h . У завршној напомени II видеће се појединости израчунавања. Ево резултата:

1) Међутим, успело се у најновије време, да се одвоје одговарајуће пруге двеју изотопа олова. Разлика атомских маса M је управо довољна да омогући ове огледе.

Израчунавање на основу спектроскопских e у Е. М. Ј. N (Авогадров h број)			
података	4,792.10 ⁻¹⁰	60,4.10 ²²	6,55 10 ⁻²⁷
Директно мерење	4,774.10 ⁻¹⁰	60,7.10 ²²	6,545.10 ⁻²⁷

Између оба низа бројева остаје још неслагање од само 5 на хиљаду. Данас ми смо сигурни да познајемо битне константе атомске теорије са прецизношћу тога реда.

Х Спектри Рентгенових зракова

Теорија спектра Рентгенових зракова личи много на теорију Balmer-ове серије.

Знате да различити елементи имају Рентгенове спектре састављене из исто тако финих пруга као што су оне код светлосних спектра. Ове се пруге групишу у више серија различите тврдине, означене словима K, L и M. Рентгенови спектри различитих елемената састављени су из истих серија — или група — које се скоро индентично репродукују од једног елемента до другог. Најтврђа група (чије су фреквенце највеће) је група K и најинтензивнија од његових пруга је K_{α}

Moseley-у управо дугујемо за наша главна знања о томе предмету. Од 1913, он је створио спектралну анализу Рентгенових зракова. Он подвргну систематским мерењима пруге разних елемената, нарочито из групе K.

Ево неколико закона које је он открио:

У колико расте атомски број група K — која се састоји из четири пруге — помера се сва правилно и континуелно ка кратким таласним дужинама. Ово такође важи и за остале групе L и M.

Посматрајмо подробније пругу K_{α} . Ако се као ордината пренесе квадратни корени њене фреквенце ν (или боље број таласа ν') у спектрима разних елемената, а као апсцисе атомски бројеви N_a , добија се скоро сасвим права линија, чија је једначина

$$\sqrt{\nu'} = \sqrt{\frac{3}{4}} K (N_a - 1)$$

или, дижући обе стране на квадрат и мењајући мало начин писања,

$$(14) \quad \nu' = K (N_a - 1^2) \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right)$$

K је стално Rydberg-ова константа.

Аналогија измеђе ове емпиричке релације и формула Balmer-a, Ritz-a и Bohr-a је тако очигледна, да је човек на први поглед принуђен да за то потражи неку паралелну теорију.

Очевидно, Рентгенове пруге као и видљиве пруге, бивају емитоване кад електрон пређе с једне стационарне путање на

другу. Који је то електрон? То не може више бити периферијски електрон, јер положај ових линија зависи само од природе атома, не мења се кад се од простог тела пређе на његова једињења. Ради се дакле о унутарњем електрону и, како су код групе K фреквенце највеће (апстракција је учињена од извесних зракова γ), тај електрон мора потицати из слоја, који је најближи језгру. Али, уопште он се ту не налази сам. Као што смо већ видели у §IV, он вероватно има компањона.¹⁾ Поље које дејствује на електрон који зрачи, јесте дакле поље језгра, лако модификовано присуством његових суседа. Што се тиче спољних слојева, њихово средње поље се елиминише скоро самим собом. Доиста, могу се, у првој апроксимацији, ти слојеви сматрати као сфере једнолико напуњене електрицитетом, чије је унутарње поље нула. Занемаримо пре свега пертурбаторско поље електрона и уочимо само поље језгра. Налазимо се скоро тачно као код случаја водениковог атома: један електрон у присуству центра пуњења $N_a \cdot e$. Према једначини (10) могуће пруге су дате обрасцем

$$(15) \quad v' = K N_a^2 \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{n'^2} \right)$$

Ако претпоставимо да је крајња орбита најближа језгру, треба заменити $n=1$ (образац 7); ако је почетна орбита следећа, $n=2$, добићемо једначину

$$v' = K N_a^2 \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right)$$

која је скоро иста као и Moseley-ева.

Разлика између теоријског фактора N_a^2 и емпиричког фактора $(N_a - 1)^2$ нема ничег чудноватог. Претпоставили смо ради упрошћења рачуна, да је електрон, који емитује светлост, сам код језгра. Исто тако у слоју $n=1$, као и у слоју $n=2$, има их у ствари више, који се узајамно одбијају и чије поље слаби поље језгра $\frac{N_a \cdot e}{a^2} \cdot N_a$ дакле треба заменити мањим бројем.

Debye је покушао да изведе потпунију теорију. Али да би извео рачуне до краја, он је претпоставио — као што је то Bohr учинио пре њега — да су електрони распоређени не по сферним слојевима или елипсоидалним, већ по равним прстеновима.

Образац који је он добио, општији је од Moseley-овог. Он се добро слаже са експерименталним резултатима и омогућује израчунавање броја електрона који се налазе у узастопним прстеновима $n=1$ и $n=2$. Ови бројеви нису вероватно тачни, јер су електрони далеко од тога да буду равни.

Практични значај Moseley-овог обрасца је знатан. Управо он је утврдио, почев од године 1913, атомске бројеве елемената и дао табlici периодног система њен данашњи изглед. Исто-

¹⁾ Видети напомену (I) стр. 38.

ријски, он је био и остаје једна од главних основа Rutherford-ове и Bohr-ове теорије атома.

Фреквенце других пруга групе K , оних из групе L и M дате су аналогним формулама формули (14), али мање простим.

Између тих фреквенца постоје необично интересантни односи комбиновања, које је открио Kossel:

Фреквенца пруге $L\alpha$, на пример, једнака је разлици пруге $K\beta$ и $K\alpha$.

Означимо фреквенцу пруге сопственим симболом пруге, горњи закон се онда изражава једначином

$$(16) \quad \begin{cases} L\alpha = K\beta - K\alpha; \text{ експеримент показује да је такође и} \\ L\gamma = K\gamma - K\alpha \\ M\alpha = L\gamma - L\alpha = K\gamma - K\beta, \text{ итд.}^1) \end{cases}$$

Интерпретација ових чињеница је врло проста. Као и увек, замишљамо да се Рентгенова пруга емитује кад електрон пређе с једне стационарне орбите на другу, при чему свака орбита одговара неком датом броју кванта n . Али док атом водоника има само један електрон, атоми чији су Рентгенови спектри били посматрани, имају их велики број. Ти електрони морају се расподелити између различитих стационарних орбита. Пошто је дата комплексност атомских система, више електрона могу постојати истовремено на истој путањи и образовати *прстен*, више прстена који одговарају истом броју кванта могу се налазити један у другом и образовати слој или област и те узастопне области, које се увлаче једна у другу (зато што пречник орбита брзо расте кад се број кванта n повећава) очевидно су оне исте, које нам је открио периодни систем и хемијске особине елемената. Само наша је слика прецизирана увођењем бројева кванта n .²⁾

Означимо узастопне слојеве $n = 1$, $n = 2$, $n = 3$, итд. словима K , L , M , итд. Очигледно је, ако се са W_M означи енергија једиог електрона из зоне M

$$W_M - W_L = (W_M - W_K) - (W_L - W_K).$$

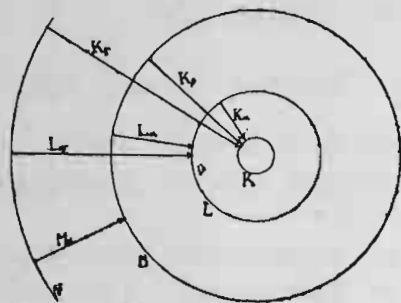
и примењујући однос $W_M - W_L = h\nu_L^M$ (где је ν_L^M фреквенца емитоване пруге за време прелаза из зоне M у зону L) и остале аналоге односе за прелаз $M \rightarrow K$, $L \rightarrow K$, добићемо једначину $\nu_L^M = \nu_K^M - \nu_K^L$, која је тачно типа једначине (16).

Долазимо дакле до претставе атома и његових узастопних електронских слојева као на шематској слици ниже (сл. 4). Свака стрела одговара једној Рентгеновој пружи, а њена дужина је

¹⁾ Релације (16) нису путпуно тачне. То је једна од тешкоћа теорије.

²⁾ Прва два електрона, они који се налазе у атому хелиума, образују вероватно први слој, $n = 1$. Осам следећих електрона, који се нагомилавају у атому за време прве периоде система елемената ($Li - Ne$) образују други слој, $n = 2$: и тако редом. Али почев од четврте још смо у неизвесности. Једновремено проучавање хемијских особина разних елемената и њихових Рентгенових спектра (нарочито меких зракова) утврдиће наше идеје ускоро по тој ствари (видети напомену I, стр. 38).

пропорционална фреквенци. Све релације (16) поново се налазе одмах, чим се упореде дужине разних стрелица.



сл. 4.

Разуме се да је ова слика непотпуна, она је далеко од тога да објасни све Рентгенове пруге. Компликован је, дељен је, сваки од слојева K , L , M , N и све то није било довољно. Између четрнаест пруга серије L има их само пет чије је порекло, изгледа, добро познато.¹⁾ Атомски системи су

толико компликовани да су све хипотезе допуштене, На првом кораку, чим напустимо водоников атом и хелиумов јон He^+ , математички нам апарат отказује послушност, принуђени смо да останемо у неизвесном и да пипамо. Али основи теорије изгледају поуздани.²⁾

XI Развој теорије

Могу да вам дам само кратке индикације о узастопним напрелима Bohr-ове теорије.

Пре свега Sommerfeld је кориговао извесне хипотезе нешто одвећ уске. Претпоставили смо у § VIII да су орбите електрона око језгра атома водоника кругови. Путања пак једног покретног тела, кога привлачи центар обрнуто са квадратом растојања, јесте уопште елипса.

Као што је то Sommerfeld показао, довољно је хипотези кванта дати општи облик,³⁾ да би се у том случају поново нашли исти резултати као и код упрошћене теорије.

Појављује се тада једна важна особеност: истом броју кванта n одговарају више елипси, које све имају исту ендргију.⁴⁾

Једна иста Balmer-ова пруга може бити произведена помоћу више различитих механизма и потпуно еквивалентних: електрон може поћи од једне ма које стационарне елипсе n' да би дошао до ма које елипсе n . Разлика енергија па према томе, и фреквенца емитоване пруге не мења се.

Али ови механизми еквивалентни су само у најпростијој хипотези, где се електрон налази сам код језгра, далеко од сваког дејства које ремети, и где су закони динамике електрона, закони обичне механике.

¹⁾ Новији радови су расветлили то питање. Изгледа, да у тешким атомима постоје три различита нивоа у зони L , пет у зони M итд. (видети напр. реферате А. Dauvillier-а у Comptes Rendus 1921).

²⁾ Видети напомену I стр. 38.

³⁾ Чиним алузију на протезање хипотезе кванта на системе који имају више степена слободе (Сi. Нап. (1) стр. 38).

⁴⁾ Број могућих елипси једнак је броју кванта n .

Брзине које имају електрони у унутрашњости атома су знатне. На пример, стављајући у атому водоника $n = 2$, налази се $v = 10^8 \frac{\text{см.}}{\text{сек.}}$; код урановог атома, стављајући $n = 1$, $v = 2 \cdot 10^{10}$, дакле $\frac{2}{3}$ брзине светлости. Немамо дакле права да занемарујемо *промену масе електрона са брзином*. Треба да применимо *динамику принципа релативитета*, обична динамика је само апроксимација. То чини Sommerfeld.

Орбите су још скоро елипсе, али са перихелним кретањем; њихов облик и њихова енергија могу се израчунати. Оне које имају исти број кванта немају више потпуно исту енергију. Према томе, разни механизми из којих потиче једна Balmer-ова пруга нису више апсолутно еквивалентни. Фреквенце које они емитију разликују се мало. Једна Balmer-ова пруга није проста *већ сложена*.

Искуство је ово потпуно потврдило, исто тако за водоник (Michelson — Fabry и Buisson)¹⁾ као и за серије јона He (Paschen) и све спектре Рентгенових зракова (дублети K и L). Запажена *финл структура* увек се савршено слагала са теоријским резултатима. Отступање двеју пруга дублета L код урана је, у скали фреквенција, седамдесет милиона пута веће од отступања дублета пруге Na код Balmer-а и оба та отступања су подједнако добро предвиђена теоријом. Овај скуп чињеница је једна од најтачнијих и најсјајних потврда *теорије кванта* и *теорије релативитета*.

Треба још нагласити разлике између разних могућих механизма емисије једне исте пруге. Довољно је ставити атом у електрично поље. Под тим условима орбите које одговарају истом броју кванта, према томе, компоненте исте пруге, одељују се; њихов размак је пропорционалан пољу: то је Stark — Lo Surdo-ов ефект.

За водоник, посматрана разлагања у 1913 објаснила су се чудне у теорији (Epstein 1916). Те чињенице су се показивале противне свакој интерпретацији у класичној теорији

Магнетно поље производи ефект аналогни ономе код електричног поља. То је Zeemann-ов ефект, познат још одавно и који је нова теорија објаснила исто тако добро — али не и боље — од Lorentz-ове.

Остало би ми још да говорим о извесним новијим теоријама, чија веза са Bohr-овим идејама није врло тесна, али које потичу директно из електричног схватања атома: то су теорије кохезије у кристалима (M. Born) и у флуидима (Debye).

1) У овом случају, огледи су претходили теорији.

То отступање је пропорционално четвртој степену атомског броја. За U, $N_a = 92$, $N_a^4 = 7,2 \cdot 10^7$. Овај дублет одговара двома путањама које се подударају са бројем кванта $n = 2$ (видети напомену II. стр. 40).

Код чврстих тела, све еластичне привлачне силе (кохезија) и одбојне (отпор при сабијању) изгледа да су електростатичког порекла. Шта више, хемијски афинитет који везује атоме натриума и хлора у кристалима морске соли, топлота развијена за време сједињавања ових елемената, могу бити израчунати а priori једним простим рачуном из електростатике према атомском моделу Rutherford-a и Bohr-a.

Шта више, капиларне силе, унутарњи притисак van der Waals-a само је израз електростатичких дејстава између молекула.

Ви видите колика је експликативна моћ електричне теорије атома. Хиљаду расутих чињеница и без везе јасно се сређују и објашњавају. Хемијски феномени, светлосни спектри, Рентгенове пруге, кохезија, капиларност, еластичност, толико одвојених области за које је измишљено толико различитих облика енергије. Преграде падају. Све те енергије изгледа своде се на једну једину електромагнетску енергију.

Ми данас суделујемо у уједињавајућем раду физике, сличном оном, који је следовао открићу електрона (1896—1905).

Нове основе теорије су две на броју:

Егзистенција позитивног језгра, електрона и њихових електричних и магнетних поља.

Егзистенција кванта.

Увођење овог двоструко дисконтинуитета у природне законе обновило је нашу концепцију васионе.

У етру — континуалном флуидном и несхватљивом Einstein-овом простору — смештају се позитивни и негативни атоми електрицитета, атом акције h , чврсти ослонци, средишта свег поља силе, језгра зрачне енергије, која нам дозвољавају да још верујемо у егзистенцију материје.

Али не треба се скривати у фундаменталној опскурности хипотеза.

Електрон, образован од негативних пуњења, која се узајамно одбијају нестабилан је ако се води рачуна само о његовој електричној енергији: шта више као што се мехур сапунице, наелектрисан помоћу електричне машине, надима и распрскава, чим електричне силе превазиђу капиларну кохезију, тако би се електрон распрснуо, распарчао до бесконачности да га не подржава нека непозната енергија, енергија електричне кохезије, која *не може биши електромагнетског порекла* (Max Abraham, H. Poincaré). Исте напомене важе и за позитивне центре, које вероватно не треба одвајати од електрона. Нису још извучене све могуће консеквенце из принципа о конзервацији електрицитета, који везује за свако негативно пуњење једно еквивалентно позитивно пуњење, за сваки електрон једно водониково језгро, које носи исто пуњење али различитог знака.

Што се тиче хипотезе кванта, бескорисно је још једном понављати да их не разумемо. Оне изражавају непознате особине електростатичког поља, поља електричне кохезије позитивних

језгра, поља друкчије сложеног и богатог, но што је оно из простог **Coulomb**-овог закона. Електрично пуњење језгра само по себи, одређује целокупну архитектуру атома, зграде чију су нам сложеност и ред открили светлосни спектри. Материја је вероватно сложена само из електрицитета. Али бедна концепција коју прикрива та реч одговара вероватно врло сумарном прегледу стварности.

Има ту нечег узнемирујућег и охрабрујућег у исти мах.

У колико се познате чињенице сређују, јављају се нови проблем, инови видици се откривају.

НАПОМЕНА I

О броју и природи електричних слојева

Извесни физичари су покушали у новије време да прецизирају моделе разних атома и нарочито да испитају расподелу њихових електрона (чији је број једнак атомском броју) између слојева *K*, *L*, *M*, итд. Могу се навести **Langmuir**, **Vegard**, и **L. de Broglie**, сам **Bohr**,

Хемијске су чињенице сложене, а подаци Рентгенове спектрографије још малобројни. Врло је тешко учинити избор између свију могућих хипотеза. Ево ипак неколико индикација.

У првим два периода Менделјејеве табле (стр. 8) и на почетку треће, никакве видне тешкоће: свакад кад атомски број N_a порасте за јединицу, један нов електрон се прикључује периферном слоју. Тако хелиум има један слој од два електрона, који остаје као подлога у целој серији елемената: слој *K*; неон их има два, један од два, други од осам корпускула; аргон ($N_a = 18$) три, означена словима *K*, *L* и *M*, а које према томе имају по 2, 8 и 8 електрона. Титан ($N_a = 22$) има најзад четири електронска слоја и може се окарактерисати конституцијоним симболом (2, 8, 8, 4,) где сваки број претставља електронско пуњење једног од узастопних слојева.

Почев од титана јављају се „анормални“ елементи — уоквирени тачкасто у табели на стр. 8. Првих шест личе много један на другог **V**, **Cr**, **Mn**, а нарочито **Fe**, **Co**, **Ni**.

Они образују серију, или хоризонталну породицу аналогних елемената (који се јасно разликују од група или вертикалних породица).

Уобичајена правила максималне валенце важе још за прва три, бар у једињењима где они играју улогу металоида. Ово доводи до тога да им се даду симболи: ванадиум (2, 8, 8, 5); хром (2, 8, 8, 6); манган (2, 8, 8, 7). Али у овим се симболима никако не јавља аналогија, коју они показују између себе и са трима металима који долазе за њима. Због тога је предложена

следећа доста вероватна хипотеза: у хоризонталним породицама нови електрони се не прикључују периферном слоју, већ слоја који лежи под њим, први уопште.

Хоризонталне породице управо компликују Менделејејеву таблицу почев од прве велике периоде. Горња хипотеза доста добро објашњава те компликације, али она није довољна да потпуно одреди конституцију разних атома. Преостаје за многе од њих, а нарочито за оне аномалне елементе, више могућих симбола.

Ја верујем у ствари да ти атоми постоје у више изомерних облика, где електрони могу да путују са извесном слободом са претпоследњег на последњи слој, и у сваком слоју, са једног нивоа на други. Тако би се објаснила за ова тела многострукост њихових хемијских валенци, променљивост њихових магнетских особина и крајња сложеност њихових светлосних спектра. Унутарњи слојеви су, на против, стабилни као што показује релативна простота и сталност Рентгенових спектра.

После никла долази бакар ($N_a = 29$), који је смештен у групи алкалија. Сада се претпоставља да се у атому бакра два последња електронска слоја никла збијају у један једини, слој М, док један нов електрон настањује област N; отуда симбол (2, 8, 18, 1). Међутим ипак један од осамнаест корпускула слоја М игра још улогу електрона валенце у бакровим једињењима. Овде се јасно показује покретност електрона код аномалних елемената.

Племенити гас који затим долази, криптон ($N_a = 36$) има за симбол (2, 8, 18, 8). Четврта периода система разликује се мало од треће. Она се завршује ксеноном ($N_a = 54$) (2, 8, 18, 18, 8). Код цезиума и бариума јавља се нови површински слој Р.

Затим почиње серија шеснаест ретких метала, скоро потпуна хоризонтална породица, која заузима свега два места Менделејејеве табле. Два електрона, од шеснаест, смештају се у периферијском слоју (ретки елементи су тро или четворовалентни). Осталих четрнаест прикључују се слојевима испод њих.

Аналогија тантала са ниобом и ванадиумом, она између група Os, Ir, Pt, и Ru, Rh, Pd, даје извештан значај хипотези, која их везује, не за претпоследњи слој O, већ за претходни N. Овај последњи прелази тако са 18 на 32 корпускула. Резултати које дају Рентгенови спектри чини се да иду у потврду ове хипотезе.

Пета периода се завршава као претходне. Долази се тако до еманације ($N_a = 86$) (2, 8, 18, 32, 18, 8) и последњег тела из низа елемената, урана, чији симбол има извесну симетрију (2, 8, 18, 32, 18, 8, 6).

Ова кратка скица биће довољна. Наглашујем још две ствари: провизорни карактер предложених решења; вероватну егзистенцију изомерних облика једног истог атома (нарочито за аномалне елементе).

Што се тиче броја кванта карактеристичног за сваки слој

Bohr је, после продубљене студије унутарње динамике атома, предложио следећу таблицу:

	K	L	M	N	O	P	Q
Број електрона у потпуном слоју	2	8	18	32	18	3	6 (код урана)
Број кванта	1	2	3	4	3	2	1

НАПОМЕНА II

О израчунавању молекуларних констаната

I. УПОТРЕБА РЕЗУЛТАТА КОД РЕНТГЕНОВИХ ЗРАКОВА (Blake и Duane). — Мерење таласних дужина Рентгенових зракова λ по апсолутној вредности заснива се на добро познатој једначини

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = 2 d \sin \theta;$$

θ је угао рефлексије, d константа кристалне решетке, чија је вредност дата, за кристале који се обично употребљују (Na Cl) обрасцем

$$Nd^3 = \frac{M}{2s}$$

где N означава Авогадров број, s густину кристала, M његову молекуларну масу имамо дакле

$$d = \frac{c}{2 \sin \theta} \sqrt[3]{\frac{2s N}{M}}$$

Blake и Duane (§VIII) су верификовали у својим експериментима једначину $e V = h \nu$.

V је потребна волтажа да би се произвели X-зраци фреквенце ν . Заменимо у овој једначини e са $\frac{F}{N}$, где је F Faraday а ν његовом вредношћу, добићемо (1)

$$N^{4/3} h = \frac{FV}{c} 2 \sin \theta \sqrt[3]{\frac{M}{2s}}$$

Амерички физичари су узели да је позната вредност електронског пуњења e , то јест вредност од N и усвојили су за величине бројеве Milikan-а

$$e = 4,774 \cdot 10^{-10} \text{ E. C. J.} \quad N = 6,062 \cdot 10^{23}.$$

Они су израчунали из једначине (1) — чији други члан обухвата само добро познате величине или оне које се могу непосредно посматрати — $h = 6,555 \cdot 10^{-27}$

Они нису дискутовали прецизност својих мерења. Пошто је дато слагање њихових резултата, може се проценити могућа релативна грешка на другом члану једначине (1) на отприлике један хиљадити. Биће, дакле, замењујући у првом члану ове једначине слова N и h вредностима које су они усвојили.

$$(1') \quad N^{4/3} h = (6,062 \cdot 10^{23})^{4/3} \times 6,555 \cdot 10^{-27} (1 \pm \eta) = 3,363 \cdot 10^5 (1 \pm \eta)$$

где је η из реда величине $\frac{1}{1000}$.

С друге стране, из једначина (13) и (13') (§ IX) изводи се

$$(2) \quad N^5 h^3 = F^5 \frac{a}{c} \frac{2}{\frac{e}{m} K_{\infty}}$$

Све величине из другог члана су врло добро познате, изузев односа $\frac{e}{m}$, пуњења према маси електрона, који се изводи из спектроскопских мерења (изузев Farady-а и брзине светлости c).

$$(2') \quad N^5 h^3 = 2,297,10^{40} \pm 1,6 \text{ ‰}$$

и према једначини (1')

$$(1'') \quad N^4 h^3 = 3,804,10^{16} (1 \pm 3\eta).$$

$$\text{Отуда } N = 6,038,10^{23} (1 \pm 3\eta \pm 0,0016)$$

$$\text{Стављајући } \eta = \frac{1}{1000} \text{ могућа грешка на } N \text{ постаје } 3,6 \text{ ‰}$$

Из те вредности за N изводи се

$$e = 4,792,10^{-10} \text{ E. C. J. } (1 \pm 3\eta \pm 0,0016)$$

$$h = 6,56,10^{-28} (1 \pm 5 \eta).$$

II УПОТРЕБА ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПОДАТАКА (Millikan).

Огледи дају, као крајњи резултат, да је угаони конфицијент праве $V = f (v)$

$$(3) \quad \frac{dV}{dv} = \frac{h}{e} = \frac{Nh}{F}$$

v је добро познато.

Производ Nh је дакле непосредно дат са апроксимацијом коју Millikan цени на 5 ‰. Millikan налази

$$(3') \quad Nh = 6,062,10^{23} \times 6,57,10^{-27} = 3,983,10^{-3} (1 \pm 0,005)$$

$$(2') \text{ и } (3') \text{ дају } N = 6,030,10^{23} (1 \pm 0,008)$$

$$e = 4,80,10^{-10}$$

$$h = 6,60,10^{-28} (1 \pm 0,013).$$

Две вредности нађене за N слажу се потпуно и приближују се врло вероватно стварној вредности за мање од 1 ‰ па чак и од 0,5 ‰. Оне су врло блиске оној коју је Millikan нашао директним мерењем e . h је лошије познато.

Примедба преводиоца

Ова књижица изишла је као десета свеска публикација Физичко-хемијског друштва у Паризу још 1922. У њој нема никаквих битних измена ни у овом преводу, не зато, што такве измене не би биле потребне према данашњем стању теорије о материји, већ стога што се желела сачувати једна од најбољих особина ове књижице: њена краткоћа у првом реду, а потом њена јасност и прегледност. Најновије стање науке о материји неће се моћи видети одавде, али то и није био циљ овог превода. Он би у неку руку требало да буде путоказ онима који почињу да се интересују физичким проблемом материје.

Осећамо се обавезним да додамо, да нам је г. Др. Милоје Стојиљковић проф. Универз. љубазно указао на новију литературу и ставио нам је на расположење. Око читања коректура помагао нам је г. Божидар Поповић, студ. фил.

Исто тако захвални смо г. Р. Мирковићу, Управнику Студ. Дома што је материјално омогућио излазак овог превода.

Сл. Ристић

Неколико библиографских индикација

Опширнија дела

A. Sommerfeld. — *Atombau und Spektrallinien*. Одлична књига која је довољна да попуни одвећ оскудну библиографију.
J. Perrin. *Les Atomes* (Paris, Alcan).

Прве хипотезе о атому

Lord Kelvin — *Phil. Mag.* 3 (1902), с 257.
Jean Perrin — *Revue Scientifique*, 15 (1901), с. 449
J. - J. Thomson — *Théorie corpusculaire de la matière*, (Paris, Gauthier-Villars, 1907).
— *Phil. Mag.* 7, с. 234 1904.

Дисперзија α -зракова. Rutherford-ов атом. Консти- туција језгра.

Rutherford — *Philosophical Magazine*, 21 (1911), с. 669
Geiger и Marsden — *Le Radium*, 6 (1909) с. 201.
Rutherford. *Phil. Mag.* 37 (1919) с. 537 с. *Le Radium*. 11, (1919) с. 370.
Новији радови: Bakerian lecture. *Proc. Roy. Soc.*, 97 A (1920), с. 374.
C. T. R. Wilson. — *Journal de physique III*. (1913) с. 529.

Систем елемената

Abegg — *Zeitschr. f. phys. Chem.* 43 (1903), с 385
W. Kossel — *Ann der Phys.*, 49 (1916), с. 329.
Soddy — *Loc. cit.*
M^{me} Curie — Предавања у физичком друштву, 1913—1914.
Lewis — *Journ. of the americ. chem. Soc.* 38 (1916), с. 762
I. Langmuir — *id.* 41 (1919), с. 368 и 1543.

Кванта

M. Planck — *Vorlesugen über die Theorie der Wärmestrahlung*.
Предавања у физичком друштву, 1912—13.
La Théorie du rayonnement et les quanta (Conseil Solvay, 1911).
Видети ниже: Развој теорије

Серије пруга

Rydberg — *Rapport au congrès de physique*, 1900, tome III.
Ritz — *Oeuvres* (Paris Gauthier—Villars)
Fabry — *Revue Générale des Sciences* (1903), с. 237.

Bohr-ова теорија

Bohr ови Мемоари *Philosophical Magazine*, (1913—1915).

Спектри Рентгенових зракова

Laue — *Le Radium* 10 (1913), с. 47.

Moseley — *Phil. Mag.* 26 (1913), с. 1024 и 27 (1913), с. 339.

De Broglie — Предавања у физичком друштву, 1913—14 и каснији мемоари.

Развој теорије

W. Kossel — Нем. физ. др. (1914, с. 899 и 953, (1916) с. 339.

Мемоари Sommerfeld-a, Debye-a, Schwarzschild-a, Epstein a, Einstein-a, у немачким часописима од 1916, (нарочито *Ann. der Phys. и Ber der deutsch. Chem. Ges*)

Консултовати Sommerfeld-ову књигу

Мемоари Bohr-a (Академија Наука у Копенхагену, 1918)

M. Born и Landé. — Немачко физичко друштво (1918), стр. 210; (1919), стр. 13.

Fajans — *Id.* (1919), с. 549 и 709.

Debije — *Phys Zeitschr.*, 21 (1920) с. 178

Bohr — *Nature* 107 (1921), с. 104.

