

ASTRONOMIJA

**u osvit
trećeg milenija**



Muhamed Muminović

ASTRONOMIJA

u osvit trećeg milenija

Muhamed Muminović

Muhamed Muminović

ASTRONOMIJA
u osvit trećeg milenija

Izdavač:

Meteorološki zavod Bosne i Hercegovine, Sarajevo

Za izdavača:

dipl. ing. Enes Sarač

Recenzenti:

prof. dr Ibrahim Bušatlija

dipl. ing. Esad Teftedarija

Kompjuterska obrada ilustracija i DTP:

Alen Hadžović

Ilustrator:

Ozren Pavlović

Lektor i korektor:

mr. Ivanka Bačanović

Naslovna strana:

"JEŽ" Printing & Publishing House

Štampa:

JEŽ, Sarajevo

Za štampariju:

Edin Omeragić

Tiraž:

500 primjeraka

CIP - Katalogizacija u publikaciji

Nacionalna i univerzitetska biblioteka Bosne i Hercegovine

Sarajevo

UDK 520

MUMINOVIĆ, Muhamed

ASTRONOMIJA u osvit trećeg milenija / Muhamed Muminović;
[Alen Hadžović]. - Sarajevo: Meteorološki zavod Bosne i Hercegovine,
1997. - 342 str.: ilustr.; 325.; 21 cm

Bibliografija: str 339 - 342

PREDGOVOR

Ova knjiga je nastala na tragu mojih prethodnih izdanja sa istom tematikom. Ona su započela davne 1972, da bi preko izdanja iz 1976, 1977 i 1985. godine došla do 1997, kraja stoljeća i osvita novog milenijuma. Bio bi to lijepi jubilej da nije gorke činjenice da je nastala u ratu, pisana kada se stiglo, između smrti i ranjavanja mnogih dragih poznatih i nepoznatih osoba. Svoju promociju nova Astronomija doživljava u jednoj drugačijoj Bosni i Hercegovini, nastaloj na ruševinama koje, na žalost, nisu uspjele da zatrpaju zlo koje se na nas obrušilo 1992. godine. Crni jahači novovjeke apokalipse koji su ispuzali iz pukotina nekih prošlih vremena i za koje smo vjerovali da su se zauvijek zatvorile, uništili su pored ostalog i Astronomsku opservatoriju u Sarajevu. Fašističke horde iz Srbije i Crne Gore i domaći četnici, napravili su od zvjezdanog hrama gomilu ruševina. Izuzev knjige, koja mene i one koji je budu čitali, vodi u neke druge, mnogo ljepše svjetove, drugog odgovora na destrukciju ja nemam.

U godinama koje slijede, potrebno je obnoviti duh astronomije u Bosni i Hercegovini koji je, u bivšoj zajedničkoj državi, bio sjajan poput mnogih drugih stvari koje su iz Sarajeva (Bosne) obogatile siromašne horizonte naših susjeda. Da me se ne bi krivo shvatilo, ovo što govorim je moj lični dug prema beskrajnom nizu ličnih tragedija koje su Bosni donijeli oni koji tu nikada nisu živjeli i koji je nikada nisu razumjeli. U ratu sam dijelio kosmički velike mrvice ljudskosti sa osobama različitih nacija, ali osobama koje su pripadale ovom tlu i koje su svoje vremensko-prostorne linije vezale za iskon u kome su rođene.

No, ovo je ipak astronomska knjiga i moram da se vratim tome. Uloga astronomije je da nam pomogne u razumijevanju onog nepojmljivo velikog koga nazivamo svemirom, vasionom ili univerzumom. Tokom ljudske historije, posmatranja neba i pojava na njemu kao što su smjena dana i noći, kretanja Sunca i Mjeseca, vodila su stvaranju kalendara i sistema računanja vremena. Kasnije se na osnovu astronomskih istraživanja došlo i do otkrića

fundamentalnih zakona prirode kao što su zakon gravitacije ili termonuklearni procesi u Suncu i zvijezdama.

Mnoga otkrića koja će se tek desiti kao što su kontrolirana fuzija, gravitaciona energija ili čak stvari koje ne možemo ni predvidjeti, vjerovatno će u mnogome zavisiti i od astronomije. Često se postavlja pitanje korisnosti ove nauke čija mnoga otkrića nemaju direktni utjecaj na čovjeka, ili se ne mogu odmah primjeniti. Međutim, treba imati na umu da se astronomijom ne trebamo baviti samo radi direktne tehnološke koristi ili provjere pojedinih filozofskih sistema, već i radi izazova koje ona postavlja našem umu. Razmišljanja o svjetovima koji su milijardama svjetlosnih godina udaljeni od nas, i do kojih možda nikada nećemo doprijeti, spadaju u one fascinacije koje su čovjeka uzdigle iz jednog skućenog svijeta i poput svjetionika mu osvjetlile put do neshvatljivo dalekih horizonata. Svemir je naša sudbina i astronomija će nam pokazati put ka drugim zvijezdama i galaksijama.

Na kraju, želio bih da se sjetim svih onih koji su na ma kakav način doprinijeli da se ova knjiga pojavi. Najprije, to su neki predivni ljudi što su, našli načina da pošalju literaturu koja mi je omogućila da najnovija otkrića unesem u ovaj tekst. Gospođa i gospodin Sinton sa Lowell opservatorije u Arizoni, poslali su gomile knjiga i časopisa. Gospođe Elisabeth Themsel sa Instituto de astronomia iz Meksika, Katerina Soldanova sa Ondrejov opservatorije u Češkoj, dr W.K. Brown iz USA, te gospoda Korado Korlević sa Zvezdarnice Višnjan i Krešimir Pavlovski sa opservatorija Hvar u Hrvatskoj. Gospodinu Edwardu Andersu, sa Univerziteta u Čikagu i gospođi Shirin Haque-Copilah sa Trinidada zahvalan sam na dolarima poslanim u vrijeme najveće gladi u Sarajevu, a dr Ditriehu Baadeu sa Južne Evropske opservatorije na pokušaju da to učini. Astronomsko društvo Pacifika iz SAD pomoglo je časopisima koji su predstavljali pravu duhovnu hranu.

Ovdje u Sarajevu izuzetna mi je čast da se zahvalim svojim prijateljima Suzani i Rusmiru Haniću koji su mi, ne jednom, ustupili svoj moćni računarski sistem i bez čijeg razumijevanja ova knjiga ne bi mogla nastati. To isto je povremeno činio i gospodin Savo Vasiljević iz Agencije OSSA. Zahvalan sam i svojim recenzentima prof. dr Ibrahimu Bušatliji i ing. Esadu Teftedariji. Gospođi Ivanki Bačanović hvala za trud na lektorskom poslu na tekstu koji nije baš jednostavan. Posebna mi je čast da se zahvalim svom prijatelju Alenu Hadžoviću koji je uložio golemu energiju da napravi sve ove crteže koji knjizi daju jednu novu dimenziju i obavi njen prelom.

Na kraju, htio bih se najsrdačnije zahvaliti gospodinu Enesu Saraču, direktoru Meteorološkog zavoda Bosne i Hercegovine koji je pokazao posebno razumijevanje da se ova knjiga pojavi u izdanju Zavoda. Posebnu zahvalnost dugujem JP "VODOPRIVREDA BiH" i gospodinu Faruku Šabeti, te DD "ARHITEKT" i gospodinu Draganu Bijediću koji su pomogli štampu. Konačno, gospodin Edin Omeragić iz štamparske firme "Jež" zaslužuje čestitke za svoj trud da se ASTRONOMIJA pojavi na svjetlu dana.

SADRŽAJ

1. SFERNA ASTRONOMIJA	1
OSNOVNI POJMOVI	1
OPĆI IZGLED NEBA	6
NEBESKI KOORDINATNI SISTEMI	11
Horizontski koordinatni sistem	11
Ekvatorski koordinatni sistem	12
Ekliptički koordinatni sistem	14
Galaktički koordinatni sistem	14
PRIVIDNO GODIŠNJE KRETANJE	
SUNCA U ODNOSU NA ZVIJEZDE	16
GEOGRAFSKA ŠIRINA I DUŽINA	19
VEZA GEOGRAFSKIH I NEBESKIH KOORDINATA	19
ASTRONOMSKO MJERENJE VREMENA	20
Zvezdano vrijeme	21
Pravo i srednje sunčevo vrijeme	22
Mjesno i zonsko vrijeme	24
Svjetsko, efemeridsko i terestrijalno vrijeme	24
Atomsko vrijeme	25
Kalendar	26
ASTRONOMSKA REFRAKCIJA	27
ASTRONOMSKA ABERACIJA	28
PRECESIJA ZEMLJE	29
2. SUNČEV SISTEM	33
PLANETE I MALA TIJELA	33
Opće karakteristike	33
Geocentrični i heliocentrični sistem svijeta	34
Keplerovi zakoni	37

Newton-ov zakon gravitacije	39
Elementi orbita planeta Sunčevog sistema	40
Merkur	41
Venera	45
Mars	50
Asteroidi	56
Meteori	59
Zodijačka svjetlost	63
Komete	63
Jupiter	68
Saturn	75
Uran	80
Neptun	83
Pluton	86
MJESEC	88
Osnovni podaci	88
Površina Mjeseca i njene karakteristike	91
SUNCE	95
Osnovni podaci o Suncu	95
Građa Sunca	95
Novija istraživanja Sunca	102
Radi zračenje Sunca i uticaji Sunca Na Zemlju	103
POMRAČENJA SUNCA I MJESECA	104
Pomračenja Sunca	104
Pomračenja Mjeseca	109
POSTANAK SUNČEVOG SISTEMA (OSNOVI KOSMOGONIJE)	111
Uvod	111
Kosmogonijske teorije	112
Moderni pogled na postanak Sunčevog sistema	119

3. OSNOVNI ASTRONOMSKI INSTRUMENTI I METODE ISTRAŽIVANJA 123

ELEKTROMAGNETSKI SPEKTAR	123
RAZVOJ TELESKOPA	124
Teleskopi refraktori	127
Teleskopi reflektori	129
Reflektorsko - refraktorski sistemi	134
MONTAŽE TELESKOPA	137
Azimutna montaža	137
Ekvatorska montaža	139
FOTOGRAFIJA U ASTRONOMIJI	141
SPEKTROSKOPSKI UREĐAJI	146

FOTOMETRIJA	149
Filteri	151
INSTRUMENTI ZA IZUČAVANJE SUNCA	152
ELEKTRONSKI SISTEMI ZA DOBIJANJE SLIKA	154
ASTRONOMSKE OPSERVATORIJE	155
ASTRONOMIJA U BOSNI I HERCEGOVINI	157

4. ZVIJEZDE **161**

KRATKA POVIJEST ASTROFIZIČKIH ISTRAŽIVANJA	161
RASTOJANJA I KRETANJA ZVIJEZDA	164
SJAJ ZVIJEZDA	166
TEMPERATURE ZVIJEZDA	169
MASE ZVIJEZDA	171
RADIUSI ZVIJEZDA	172
PRITISCI I TEMPERATURE U SREDIŠTIMA ZVIJEZDA	173
ZVJEZDANI SPEKTRI	175
HERTZSPRUNG - RUSSELL- ov DIJAGRAM (H - R DIJAGRAM)	178
BIJELI PATULJCI	181
IZVORI ZVJEZDANE ENERGIJE	183
DVOJNE ZVIJEZDE	185
Spektroskopske dvojne zvijezde	189
Bliske dvojne zvijezde	190
Planetski sistemi drugih zvijezda	190
PROMJENLJIVE ZVIJEZDE	191
Cefeide	191
Zavisnost period - apsolutni sjaj	192
Dugoperiodnične promjenljive zvijezde	194
Polupravilne promjenljive zvijezde	196
Nepravilne promjenljive	197
Nebularne promjenljive	197
Promjenljive zvijezde tipa R Coronae Borealis	198
Patuljaste nove zvijezde	198
Eruptivne promjenljive tipa UV Ceti	199
Wolf - Rayet-ove zvijezde	199
Nove zvijezde	200
Supernove zvijezde	203
Pomračujuće (eklipsne) promjenljive zvijezde	208
Rotacija zvijezda	212
Rađanje i evolucija zvijezda	213

5. GALAKTIČKA ASTRONOMIJA	217
MLIJEČNI PUT - NAŠA GALAKSIJA	217
ZVJEZDANI SKUPOVI	221
MEĐUZVJEZDANA MATERIJA	227
Tamne magline	229
Svijetle difuzne magline	230
Planetarne magline	230
Ostaci supernovih	231
6. VANGALAKTIČKA ASTRONOMIJA	235
UVOD	235
VRSTE GALAKSIJA	236
Spiralne galaksije	237
Eliptične galaksije	241
Nepravilne galaksije	242
Posebne vrste galaksija	243
Seyfert-ove galaksije	246
Patuljaste galaksije	247
OSNOVNE FIZIČKE KARAKTERISTIKE GALAKSIJA	248
Rotacija galaksija	249
Mase galaksija	249
LOKALNI (MJESNI) SISTEM GALAKSIJA	250
Magellan-ovi oblaci	250
Velika maglina u Andromedi (M 31 ili NGC 224)	251
Maglina u Trokutu (M 33 ili NGC 598)	252
Grupa galaksija u Velikom Medvjedu	253
Skupovi galaksija	255
OSNOVI KOSMOLOGIJE	257
Hubble-ov zakon širenja svemira	257
KOSMOLOŠKI MODELI	260
Uvod	260
Zatvoreni model svemira	263
Otvoreni model svemira	264
Prelazni model svemira	264
Big bang, mikrovalno pozadinsko zračenje i inflatorna teorija	265

7. RADIO-ASTRONOMIJA	269
RADIO-TELESKOPI	270
RADIO-IZVORI U SUNČEVOM SISTEMU	274
GALAKTIČKI RADIO-IZVORI	275
VANGALAKTIČKI RADIO IZVORI	277
Kvazari	279
PULSARI - NEUTRONSKE ZVIJEZDE	281
8. INFRACRVENA ASTRONOMIJA	285
UVOD	285
OBJEKTI NA INFRACRVENOM NEBU	287
Galaktički izvori	289
Vangalaktički IC izvori	290
Novi projekti	291
9. ULTRALJUBIČASTA (ULTRAVIOLETNA) ASTRONOMIJA	293
UVOD	293
Uređaji koji se koriste u UV astronomiji	294
Mehanizmi nastanka ultraljubičastog zračenja	296
OBJEKTI NA ULTRALJUBIČASTOM NEBU	297
Mliječni Put	298
Vangalaktički izvori	299
10. RENTGENSKA ASTRONOMIJA	301
Uvod	301
Galaktički rentgenski izvori	302
Vangalaktički rentgenski izvori	304
Novi projekti	305
11. ASTRONOMIJA GAMA ZRAKA	307
Uvod	307
Instrumenti za gama zračenja i gama nebo	309

12. ASTRONOMIJA KOSMIČKIH ZRAKA, NEUTRINA I GRAVITACIONIH VALOVA	313
ASTRONOMIJA KOSMIČKIH ZRAKA	313
NEUTRINSKA ASTRONOMIJA	315
ASTRONOMIJA GRAVITACIONIH VALOVA	316
13. CRNE JAME	317
14. DODATAK	323
15. LITERATURA	339

1. SFERNA ASTRONOMIJA

OSNOVNI POJMOVI

Još od prapočetaka ljudske civilizacije, od onog mutnog osvita zore čovječanstva, pogled na noćno nebo predstavljao je posebnu fascinaciju koja je indirektno vodila rađanju religije, filozofije i nauke. Možemo samo pretpostavljati kako bi nam skućeni vidici bili kada ne bi postojao nebeski svod osut zvijezdama.

Bilo gdje da se na Zemlji nađemo, nebo nam uvijek izgleda kao unutrašnja strana ogromne polukugle čije granice teško naslućujemo ali nam izgleda da one postoje. Zvijezde i sva druga nebeska tijela izgledaju kao da su pričvršćeni na ovoj polukugli, koju u mislima možemo produžiti i ispod horizonta. Znamo da se u stvarnosti sve te slabe i sjajne tačkice svjetlosti nalaze na najrazličitijim udaljenostima od nas. Ovu zamišljenu kuglu nazivamo **nebeska sfera**.

Već i površan pogled na tamni nebeski svod vodi nas do zaključka da se zvijezde prividno grupišu stvarajući različite oblike i likove. Naš um i naše oči u tim grupama zvijezda "prepoz-

naju" neke njima poznate geometrijske figure, likove iz životinjskog svijeta ili mitologije. Na ovaj način se već veoma davno došlo do pojma **sazviježđa**. To su, dakle, proizvoljno odabrane grupe zvijezda koje slučajno leže na istom dijelu neba. One u realnosti najčešće nemaju nikakve međusobne fizičke veze i nalaze se na najrazličitijim udaljenostima od nas. Međutim, za upoznavanje neba, pravljenje zvjezdanih karata i atlasa, izradu kataloga i slične potrebe, sazviježđa su zadržana sve do naših dana. Imena većine sazviježđa koja se vide sa sjevernih geografskih širina, potiču iz grčke mitologije. Sa druge strane, imena zvijezda su uglavnom arapskog porijekla jer su njihovi astronomi nastavili tradiciju helenske i rimske nauke u vrijeme mračnih perioda evropske civilizacije.

Moderna astronomija poznaje 88 sazviježđa čije su granice određene odlukom Međunarodne astronomske unije (IAU) 1928. godine. Te granice su prave crte koje slijede nebeske koordinatne linije. Način označavanja zvijezda u jednom sazviježđu grčkim



Sl.1 Srednjevjekovni pogled na svemir. Prikazan je čovjek koji se nakon dugog putovanja približio "kraju svijeta" i u svojoj vječnoj radoznalosti provukao glavu kroz nebesku sferu.

alfabetom i latinskim slovima uveo je **J.Bayer** 1603. godine. Tako je npr. sjajna zvijezda Vega u sazviježđu Lire oznažena grčkim slovom α pa se za nju kaže da je α Lyrae, prema latinskom nazivu za Liru. **J.Flamsteed** krajem 17.stoljeća uvodi označavanje zvijezda u jednom sazviježđu arapskim brojkama. Tako Vega nosi broj 3, pa se može reći i da je ona 3 Lyrae. Oba ova načina su se zadržala i do danas.

Sve što se zbiva na nebu kada su u pitanju položaji raznih tijela, dovodimo u vezu sa nebeskom sferom. Zato je nužno da nešto kažemo o osnovnim tačkama, linijama i kružnicama koje se na ovoj sferi nalaze i koje će nam olakšati razumijevanje složene problematike tzv.sferne astronomije.

Poći ćemo od **zenita**. To je tačka za dato mjesto na površini Zemlje, u kojoj

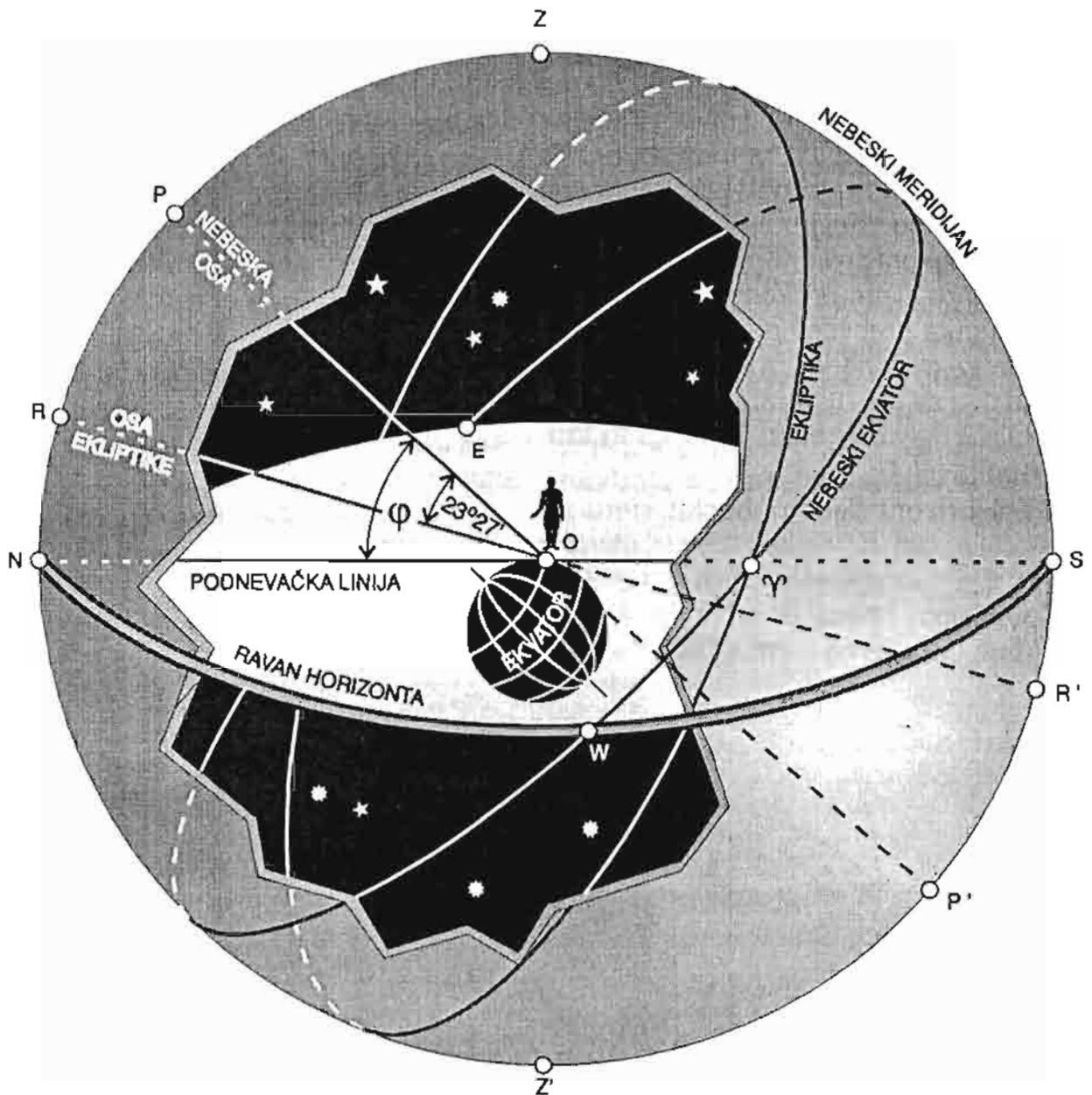
pravac rezultante sile teže i centrifugalne sile nastale rotacijom naše planete, siječe nebesku sferu. Tu tačku u praksi dobijemo tako što produžimo prema nebu pravac niti na koju je obješen visak. Ako taj isti pravac produžimo kroz središte Zemlje, tada ćemo na suprotnoj strani dobiti tačku koju zovemo **nadir**. Prava koja prolazi kroz tačke zenita, posmatračevog stojišta i nadira naziva se **vertikala**.

Ravan koja je, za određeno mjesto, normalna na vertikalu, naziva se **ravan pravog horizonta**. Ta ravan siječe nebesku sferu po krugu koji se zove **pravi ili matematički horizont**. **Prividni horizont** je nepravilna linija koja povezuje mjesta gdje se prividno spajaju "nebo i zemlja".

Ako nebesku sferu posmatramo noću duže vremena, vidjet ćemo da se ona polako okreće od istoka ka

zapadu. Za puni obrt su joj potrebna 24 zvezdana sata ili 23 sata, 56 minuta i 4 sekunde srednjeg sunčevog vremena. Znamo da se ovdje radi o prividnom obrtanju i da je ono manifestacija rotacije Zemlje. Ako osovinu oko koje rotira naša planeta u mislima produžimo do nebeske sfere, dobit ćemo dvije tačke. Označit ćemo ih sa P i P' i nazivamo ih nebeski ili svjetski polovi.

Sa naših širina vidimo **sjeverni nebeski ili svjetski pol** koji se u naše vrijeme nalazi u blizini zvijezde Sjevernjače. Stanovnici južne Zemljine polukugle mogu da vide **južni nebeski ili svjetski pol**. Oba ova pola možemo povezati linijom koja prolazi i kroz tačku u kojoj je posmatrač. Ta linija se naziva **nebeska ili svjetska osa** i ona je paralelna sa



Sl.2 Prikaz nebeske sfere. Posmatrač se nalazi u središtu. U našem slučaju, to je položaj na zemljinoj kugli u tački sa oko 45° sjeverne geografske širine. Posmatračev horizont smo produžili do granica zamišljene nebeske sfere koju u ovom slučaju posmatramo izvana. Uočavamo osnovne tačke, linije i krugove: N-sjeverna tačka, W-zapadna tačka, S-južna i E-istočna tačka; R i R' sjeverni i južni pol ekliptike, P i P' sjeverni i južni nebeski pol, Z-zenit, Z' - nadir, γ - proljetna tačka; POP' - nebeska osa; ROR' - osa ekliptike, ZOZ' - vertikala, φ - geografska širina posmatrača.

Zemljinom osom rotacije.

Veliki krug čija je ravan normalna na nebesku osu, naziva se **nebeski ekvator**. Nebeski ekvator presijeca horizont u tačkama E i W. To su istočna (East) i zapadna (West) tačka.

Sve ravni koje prolaze kroz nebesku osu, sijeku nebesku sferu po velikim krugovima koje zovemo **satni** ili **deklinacijski krugovi**. Mali krugovi koje povlačimo paralelno sa nebeskim ekvatorom, nazivaju se **nebeske paralele**. Veliki krug koji prilazi kroz južnu tačku, zenit i sjevernu tačku, naziva se **nebeski meridijan**. Svaka zvijezda ili drugo nebesko tijelo ima neku svoju dnevnu paralelu kojom se kreće tokom prividnog obrtanja nebeske sfere. Tom prilikom nebesko tijelo dva puta presijeca nebeski meridijan. Prolaz kroz meridijan koji je bliži zenitu naziva se **gornja kulminacija**. Prolaz koji je dalji od zenita je **donja kulminacija** (sl 4).

Horizont dijeli nebesku sferu na vidljivi i nevidljivi dio. Nebeski ekvator je dijeli na sjevernu i južnu nebesku polukuglu. Postoji još jedan važan krug koga uočavamo na nebeskom svodu.

On je određen prividnim godišnjim kretanjem Sunca. Središte Sunca, u svom prividnom kretanju, opiše na nebeskoj sferi krug čija ravan sa ravni nebeskog ekvatora zaklapa ugao od $23^{\circ} 26' 21,448''$ (za epohu 2000,0). Vidjet ćemo kasnije da je to u stvari presjek ravnine Zemljine putanje oko Sunca sa nebeskom sferom. Taj krug se naziva **ekliptika**.

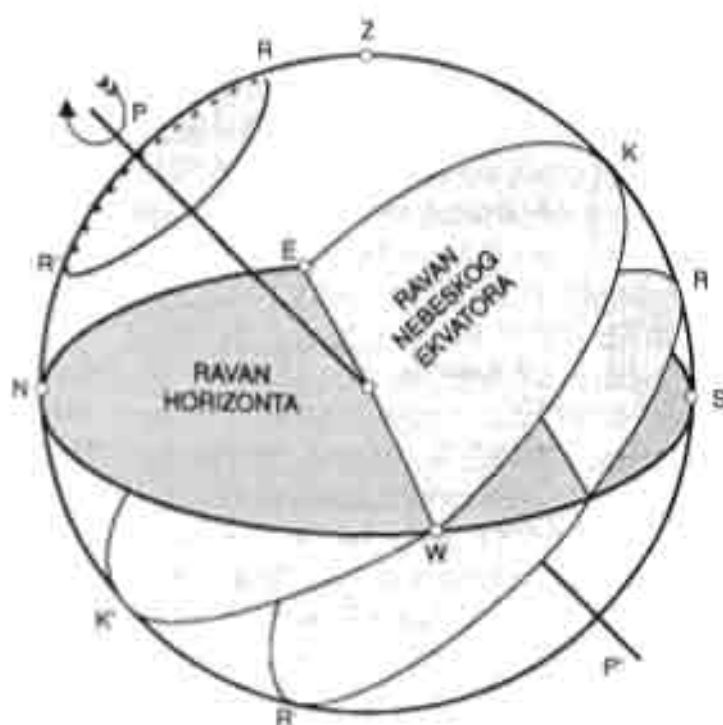
Ekliptika i ekvator se sijeku u dvije dijametralno suprotne tačke. Tačka Υ se naziva tačka proljetne ravnodnevice (**ekvinocija**) ili kraće **proljetna tačka**. Ona nosi staru oznaku za sazviježđe Ovan jer se u toj grupi zvijezda nalazila u prošlosti. U proljetnoj tački Sunce se nalazi oko 21. marta (ožujka). Tačka jesenje ravnodnevice (ekvinocija) obilježava se sa Ω i skraćeno naziva **jesenja tačka**. U jesenjoj tački Sunce se nalazi svake godine oko 23. septembra (rujna). U ova dva datuma dužina trajanja dana jednaka je dužini trajanja noći, pa odatle i dolazi naziv ravnodnevica odnosno ekvinocij prema latinskoj riječi. Veliki krugovi koji prolaze kroz polove ekliptike nazivaju se **krugovi latituda**. Svi su oni normalni na ravan

Sl.3. Prividna rotacija nebeske sfere. Fotografski aparat je bio nepomičan i usmjeren ka nebeskom polu. Sve zvijezde opisuju lukove različitih dužina u zavisnosti od udaljenosti između njih i pola. Sjajnije zvijezde imaju šire tragove.



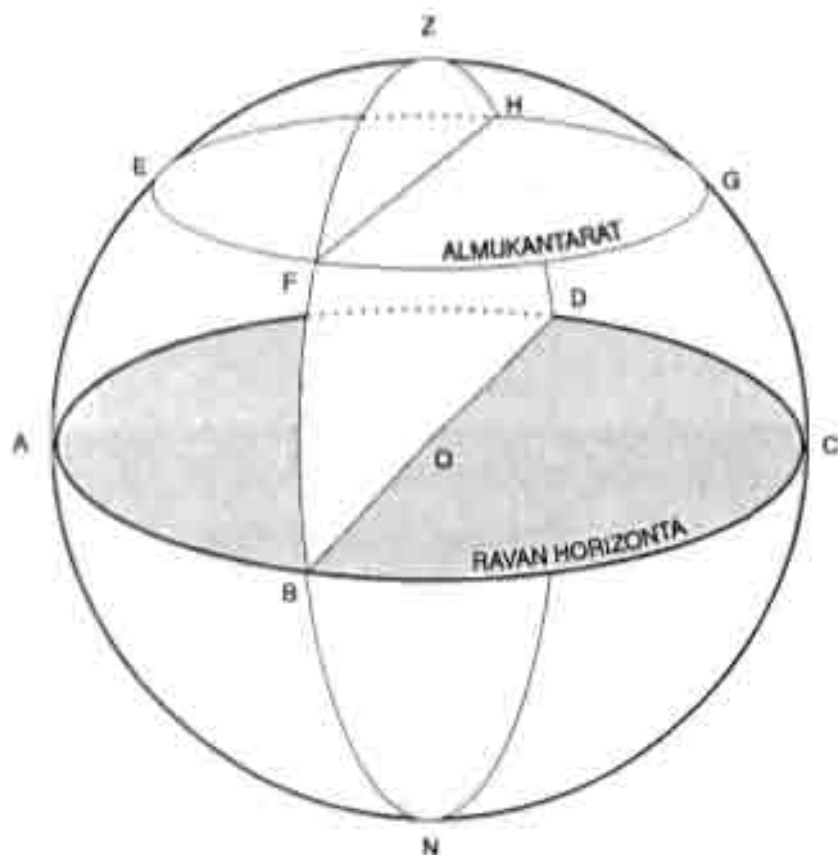
Sl.4. Osnovni krugovi i tačke na nebeskoj sferi

- PP' - nebeski polovi
 KK' - nebeski ekvator
 RR' - nebeske paralele
 R - tačka gornje kulminacije
 R' - tačka donje kulminacije
 Z - zenit
 $NWSE$ - sjeverna, zapadna, južna i istočna tačka
 $NPZS$ - nebeski meridijan



ekliptike. Svaka od velikih ravni koja prolazi kroz vertikalnu, odnosno kroz pravac posmatrač-zenit, siječe nebesku sferu po jednom velikom krugu koji se zove **vertikal**. Nebeski meridijan je samo jedan od takvih vertikala.

Vertikal koji prolazi kroz istočnu tačku, zenit i zapadnu tačku, naziva se **prvi vertikal**. Svi vertikalni su uvijek normalni na horizont. Mali krugovi koji su paralelni sa ravinom horizonta, nazivaju se **almukantarati**.



Sl.5. Na crtežu su: Z - zenit, N - nadir, $ABCD$ - horizont
 $NBFZHDN$ - vertikal i $EFGHE$ - almukantarat.

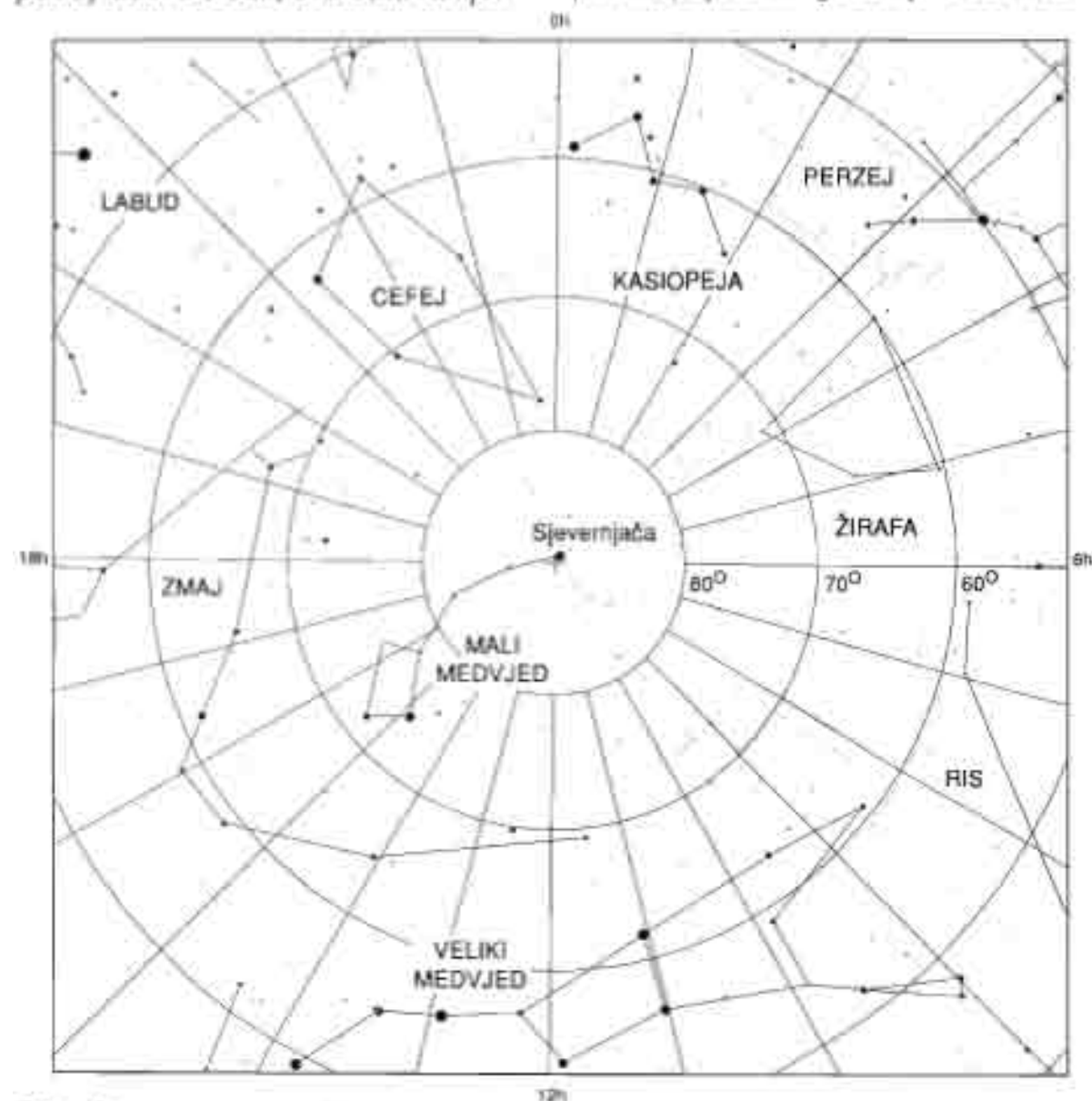
OPĆI IZGLED NEBA

Zbog Zemljine rotacije, u razna godišnja doba posmatramo i različite dijelove nebeskog svoda. Zbog toga možemo govoriti o proljetnim, ljetnim, jesenjim i zimskim sazviježđima. Zemlja jednu svoju rotaciju izvrši za približno $23^{\circ} 56'$, te zaključujemo da svake noći u položaju zvijezda imamo razliku od oko 4 minuta. Za jedan mjesec nakupi se te razlike oko 2 sata.

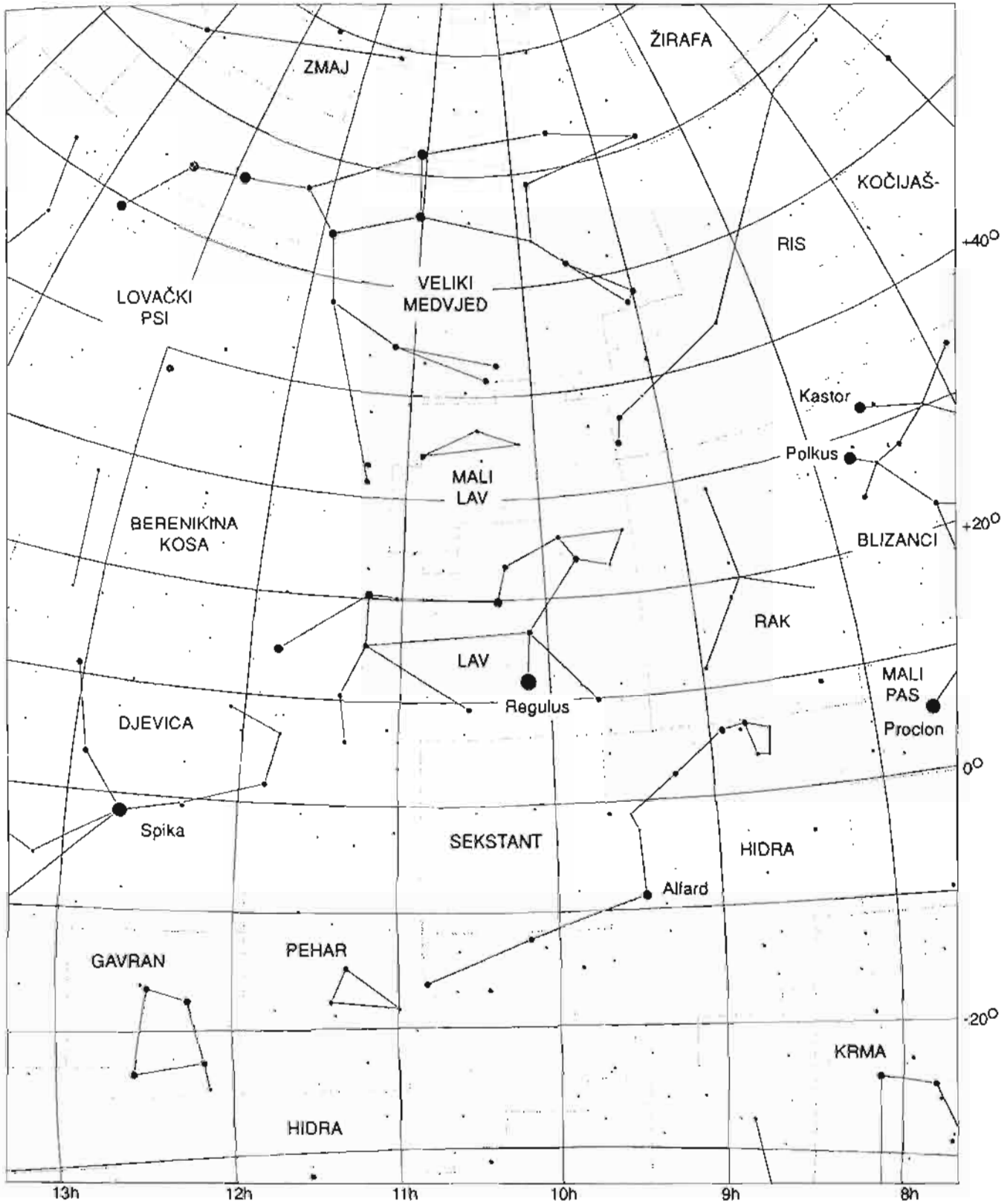
To znači da ako nam je na primjer sazviježđe Orion 1. septembra (rujna) izašlo u 02 sata, da će 1. oktobra (listopada) izaći u 0 sati, dva sata ranije.

Zvijezde koje se nalaze u blizini nebeskog pola nikada ne zalaze. Takva sazviježđa nazivamo **cirkumpolarna**. Na suprotnom, za nas nevidljivom dijelu nebeske sfere, nalaze se **anticirkumpolarna** sazviježđa.

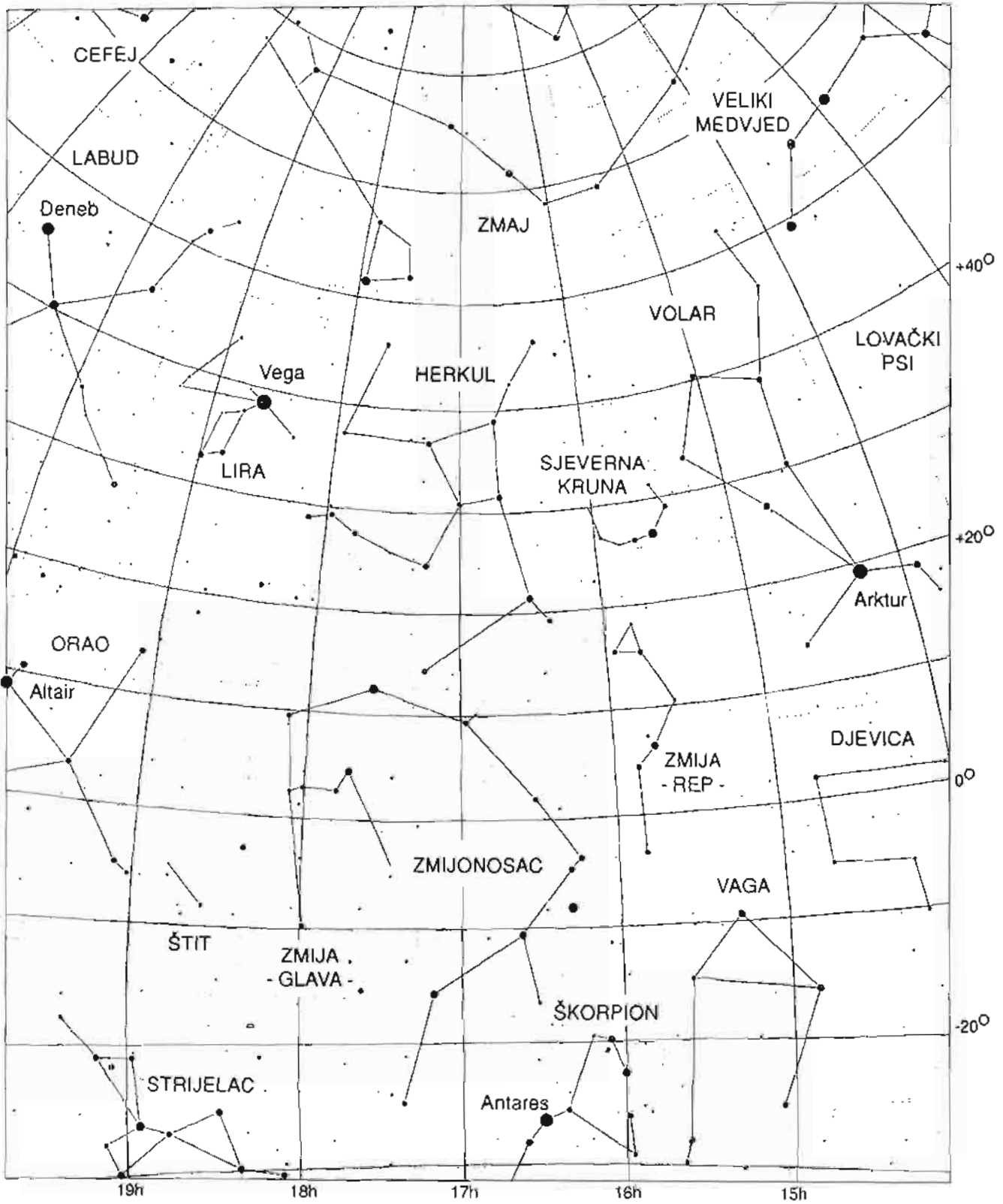
Orientacija na nebu se najlakše vrši pomoću zvjezdanih karata ili zvjezdanih atlasa. Ona osnovna sazviježđa i najsajnije zvijezde možemo upoznati pomoću karata koje su date na sljedećim stranicama. Pri tome je čitavo nebo podijeljeno na oblasti oko sjevernog i južnog nebeskog pola i prema pojedinim godišnjim dobima.



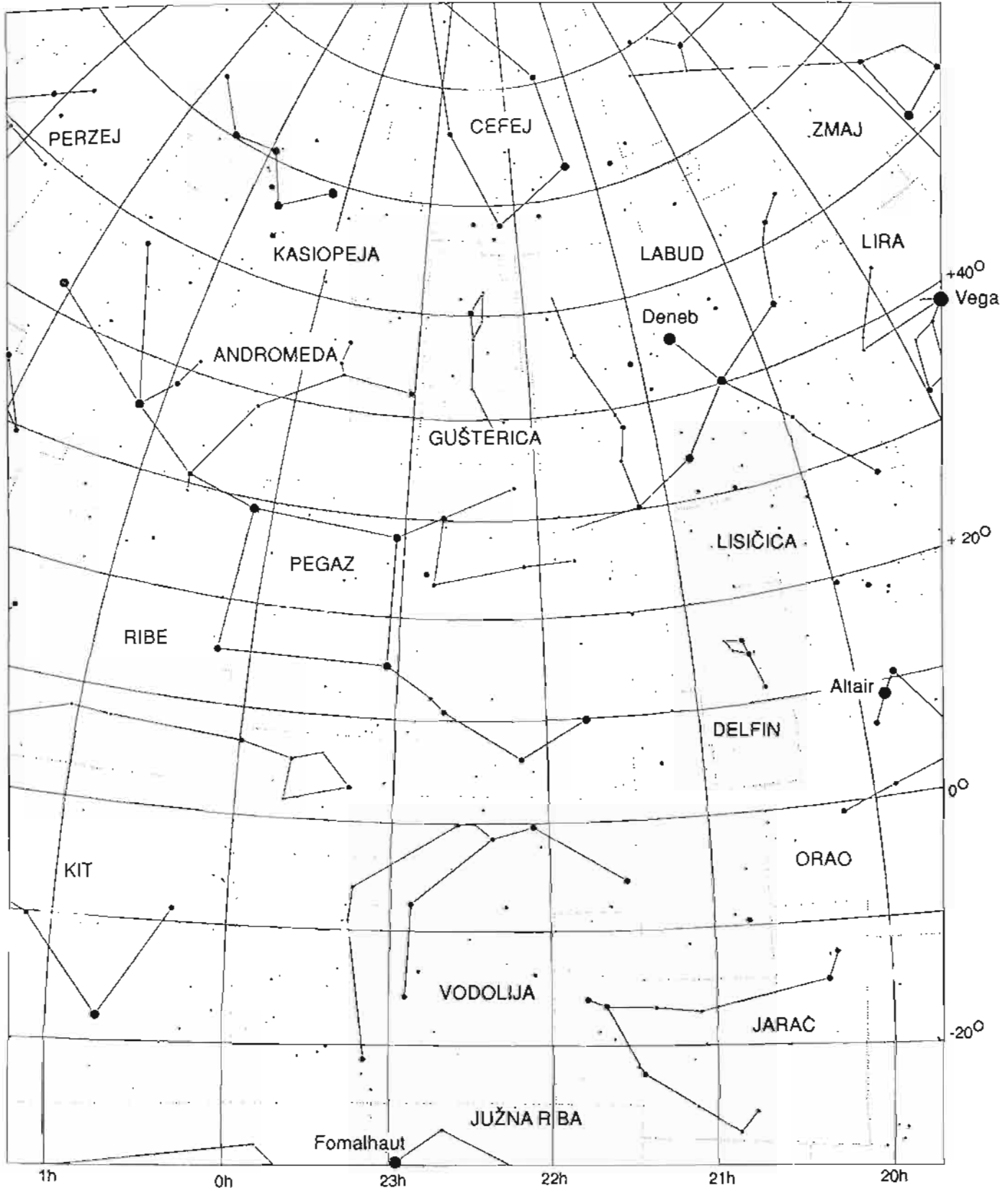
Sl.6 Cirkumpolarna sazviježđa



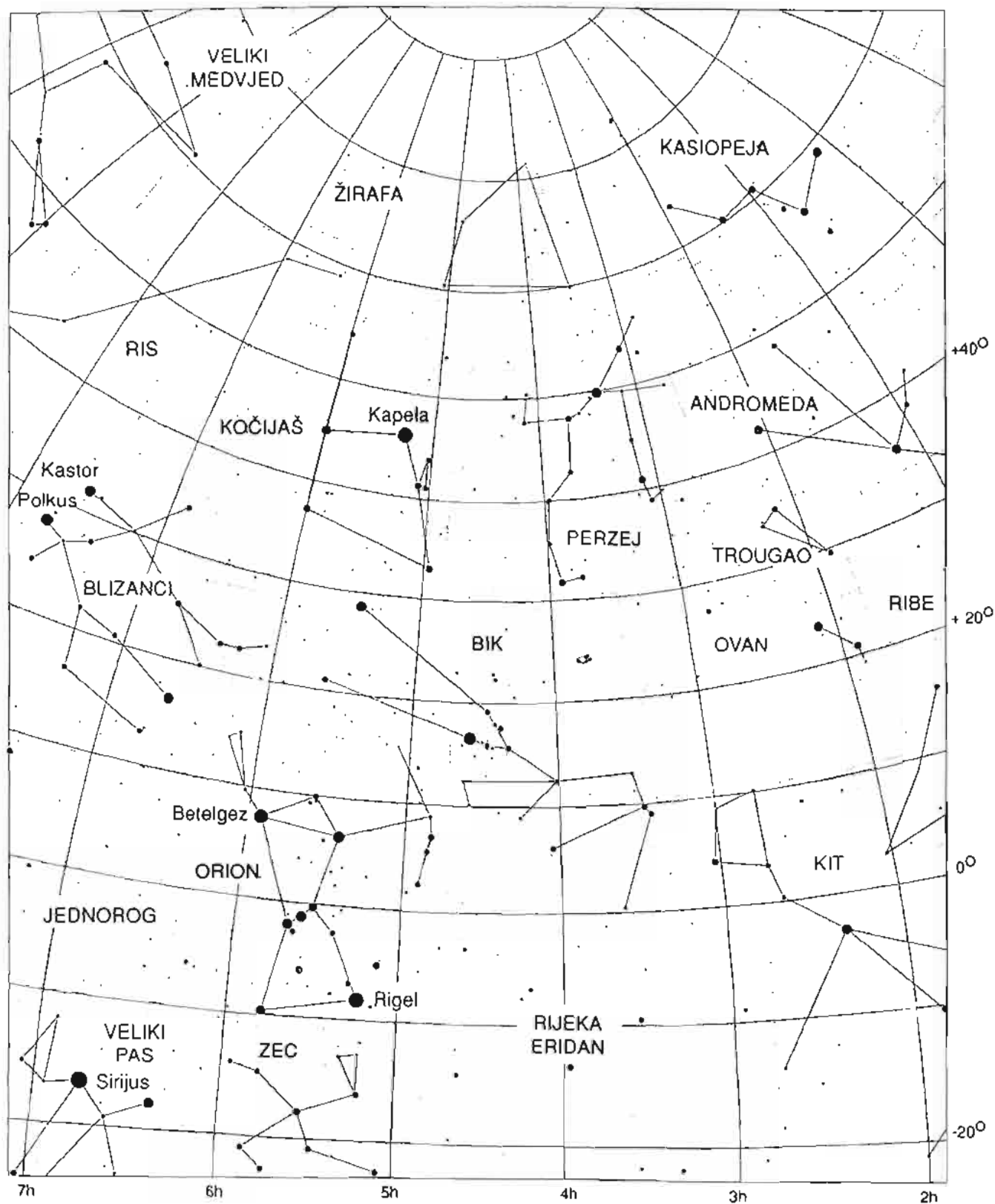
SI.7 Proljetna sazviježda



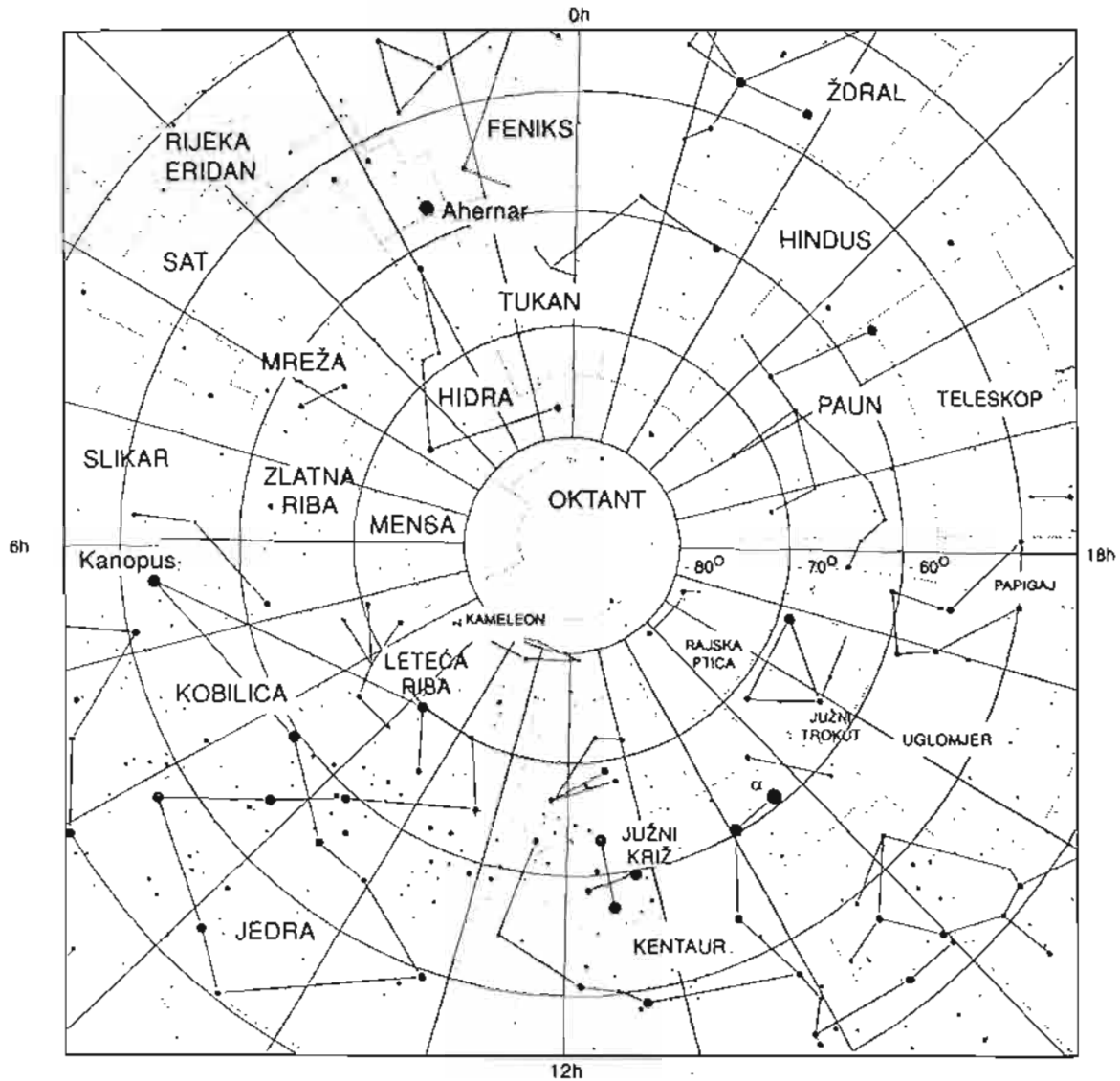
SI.8 Ljetna sazviježda



Sl.9 Jesenja sazviježda



Sl.10 Zimska sazviježđa



Sl.11 Anticirkumpolarna sazviježđa

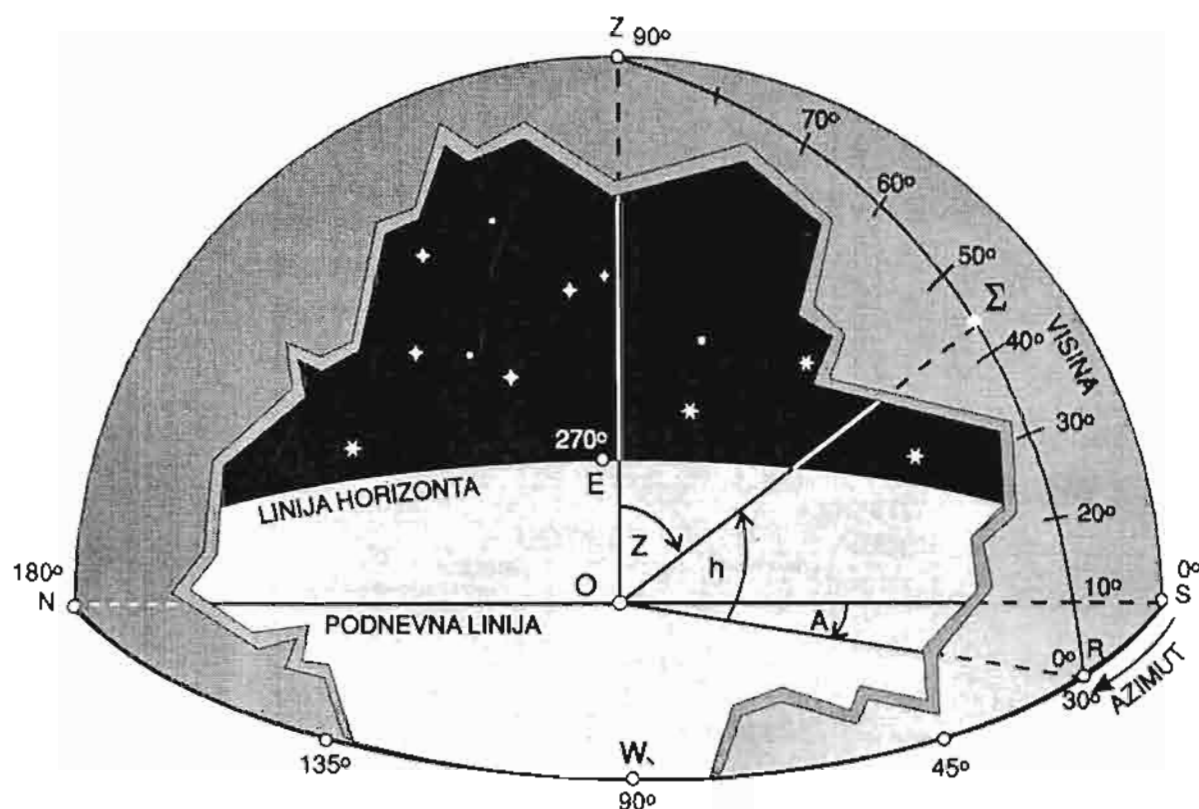
NEBESKI KOORDINATNI SISTEMI

Za određivanje položaja nebeskih tijela, služimo se koordinatnim sistemima kojih ima više vrsta. Razlikuju se po tome koje ravni ili velike krugove na nebeskoj sferi imaju kao osnovne. U principu, na nebeskoj sferi uvijek možemo izabrati dva velika kruga koji su normalni jedan na drugi. Zatim se uoči pol kruga koji nam je osnovni i koji je od svih tačaka tog kruga udaljen za 90° . Kroz pol i nebesko tijelo povlačimo luk svedo presjeka sa osnovnim krugom. Dužine lukova

predstavljaju koordinate nebeskog tijela.

Horizontski koordinatni sistem

Osnovna ravan u ovom sistemu nebeskih koordinata je horizont. Drugi osnovni krug je nebeski meridijan. Pol osnovnog kruga je očigledno tačka zenita (sl.12). Posmatrat ćemo sljedeći slučaj. Neka se u tački Σ nalazi neko nebesko tijelo čiji položaj želimo odrediti. Kroz tačku zenita i tačku Σ povučemo luk koji se naziva visinski krug. On predstavlja neki vertikal.



Sl. 12 Horizontski koordinatni sistem. Sa crteža je vidljivo da zvijezda ima sljedeće koordinate: visinu $h = 44^\circ$ i azimut $A = 30^\circ$.

Visinski krug će se sa ravni horizonta sijeći u tački R. Nakon ovoga, spojimo tačke Σ i R sa O. Ugao između pravca $O\Sigma$ i OR ćemo označiti sa h . Taj ugao nazivamo **visina nebeskog tijela**.

Često se umjesto ove veličine uzima ugao z . To je **zenitno rastojanje**. Ugao SOR ćemo obilježiti sa A i zvati ga **azimut** nebeskog tijela. Smjer u kome se mjeri ova koordinata označen je na sl.12 strijelicom. U južnoj tački vrijednost azimuta je 0° , u zapadnoj 90° , sjevernoj 180° , a istočnoj 270° . Visina h se mjeri od 0° na horizontu do 90° u zenitu. Očigledno je, takođe, da su visina h i zenitno rastojanje z povezani relacijom:

$$z = 90^\circ - h$$

Isto tako, možemo uočiti da sve tačke na jednom almukantaratu imaju jednake visine ili zenitna rastojanja.

Ekvatorski koordinatni sistem

Ovaj sistem koordinata zasniva se na ravni nebeskog ekvatora kao osnovnoj. Druga ravan može biti ravan meridijana i, ako je sistem postavljen na takvoj osnovi, onda se jedna koordinata mijenja sa vremenom. Posmatrat ćemo najprije takav slučaj. Na slici 13 vidimo da jednu koordinatu dobijemo kada kroz nebeski pol P i tačku Σ gdje se nalazi nebesko tijelo, povučemo luk do presjeka sa nebeskim ekvatorom. Ova koordinata se naziva **deklinacija** i u astronomskim tablicama se obilježava sa grčkim slovom δ ili latinskim D. Na ekvatoru

je deklinacija svakog objekta 0° i pozitivna je do nebeskog pola, gdje ima vrijednost od $+90^\circ$. Ispod ekvatora, deklinacija je negativna i ide do -90° (južni nebeski pol).

Druga koordinata je ugao t . Naziva se **satni ugao (kut)** i mjeri se od meridijana prema zapadu, i to od 0° do 360° . Zbog obrtanja nebeske sfere satni ugao se neprekidno mijenja. Zbog toga se on u astronomiji koristi za mjerenje vremena. Kada se neko tijelo nalazi u gornjoj kulminaciji (na nebeskom meridijanu), tada njegov satni ugao (kut) iznosi 0° . U donjoj kulminaciji nekog tijela t iznosi 180° .

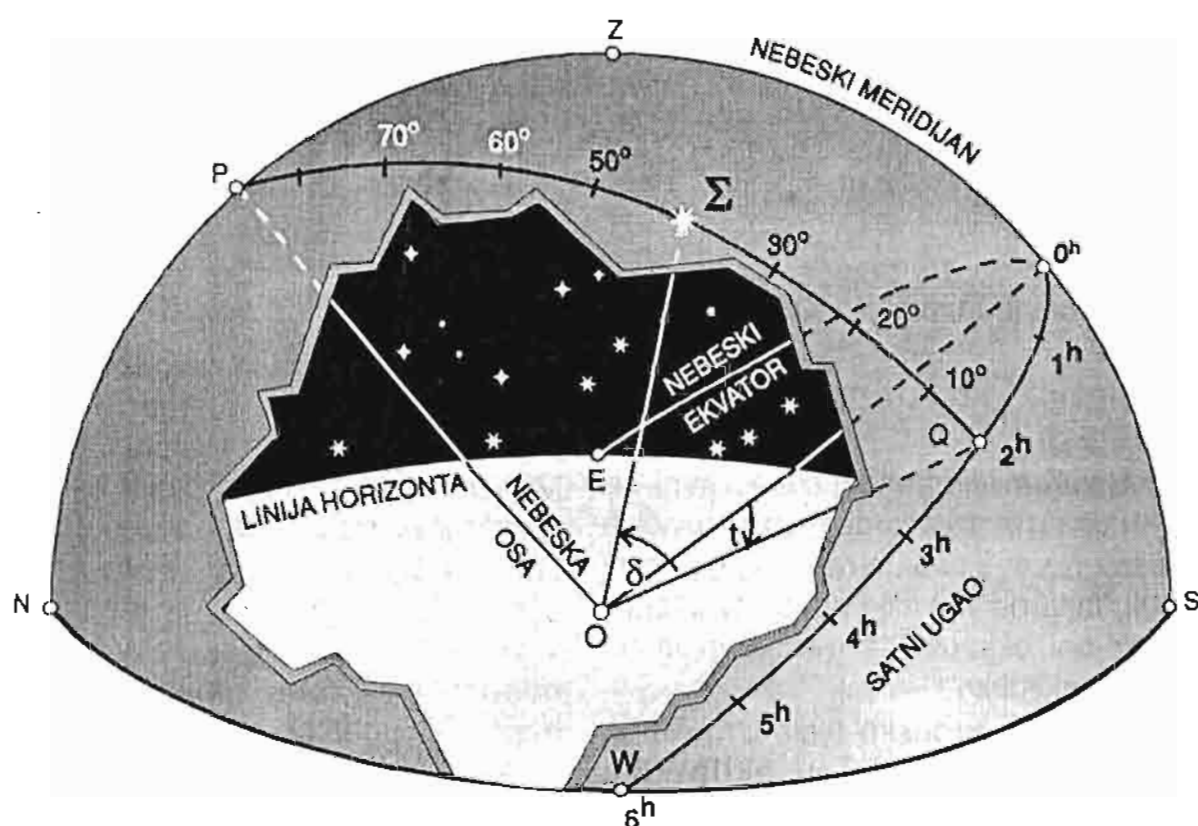
Pošto je satni ugao funkcija vremena, on se umjesto u stepenima, minutama i sekundama luka, može izražavati u vremenskim jedinicama. Pošto 24 sata odgovara satnom uglu od 360° , onda jednom satu odgovara

15° . Znači, ako neka zvijezda ima satni ugao od 15° , onda se može reći i da ta zvijezda ima satni ugao jedan sat (1^h).

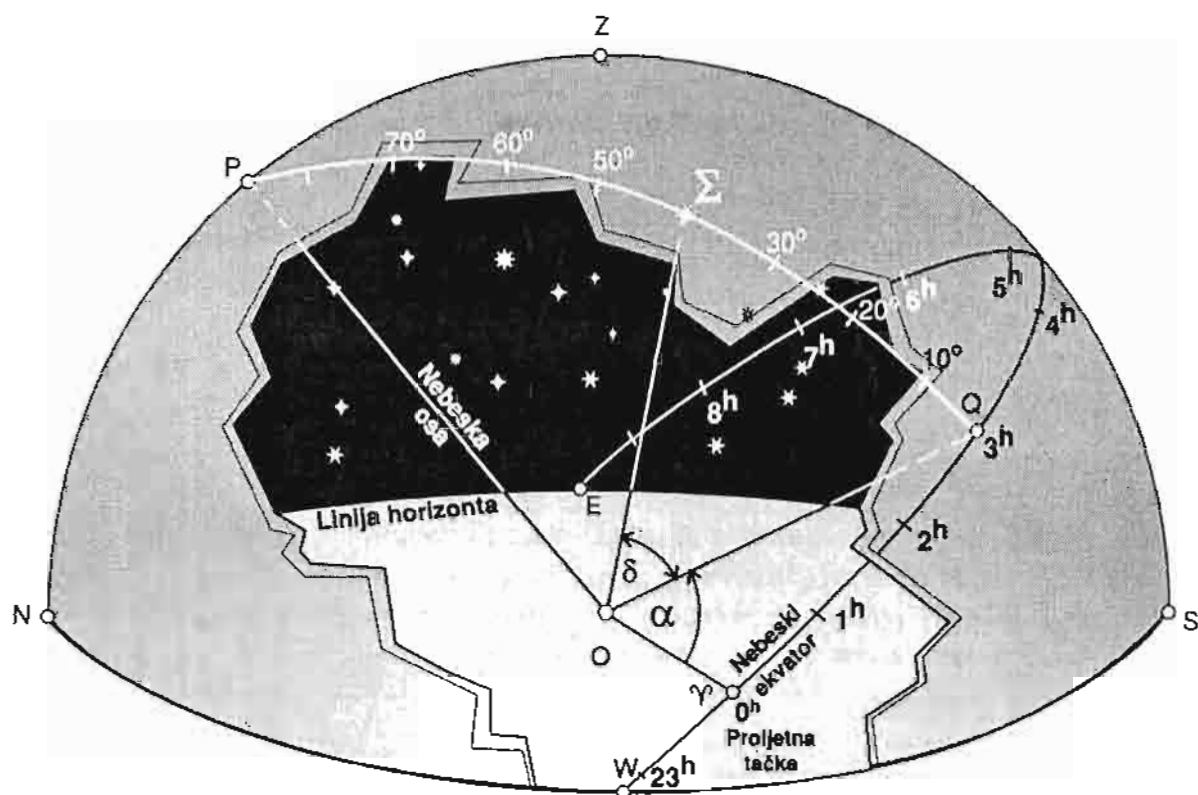
Isto tako, jednoj minuti vremena odgovara $15'$, a jednoj vremenskoj sekundi odgovara $15''$ luka. Može i obratno. $1'$ je isto što i 4 minuta, i tako dalje. Satni ugao se mijenja ravnomjerno, te zato služi za mjerenje vremena, ali u ovakvom ekvatorskom sistemu nije moguće određivati položaje nebeskih tijela jer se jedna koordinata mijenja.

Tačnije rečeno, to bi bilo krajnje nepraktično. Zbog toga se, umjesto meridijana za drugu osnovnu ravan uzima deklinacijski krug ravnodnevnih tačaka. Deklinacija se u ovom slučaju računa kao u prethodnom sistemu sa satnim uglom.

Nova koordinata, **rektascenzija**, računa se od Proletne tačke u smjeru



Sl.13 Uz definiciju deklinacije i satnog ugla.



Sl. 14 Ekvatorski koordinatni sistem.

Sa crteža vidimo da zvijezda Σ ima sljedeće koordinate: rektascenzija $\alpha = 3^{\text{h}}$, deklinacija $\delta = +40^{\circ}$.

suprotnom od smjera prividnog dnevnog obrtanja nebeske sfere koji se u astronomiji zove direktan. Ona se najčešće izražava u satima, minutama i sekundama. Pri tome, za vezu ugaonih i vremenskih jedinica, važe ranije pomenute relacije. Rektascenzija se označava sa α .

Ekliptički koordinatni sistem

U ovom sistemu glavne ravni su ekliptika i ravan latituda ravnodnevičkih tačaka. Kao što smo ranije već pomenuli, latituda je veliki krug koji prolazi kroz pol ekliptike, a normalan je na ravan ekliptike.

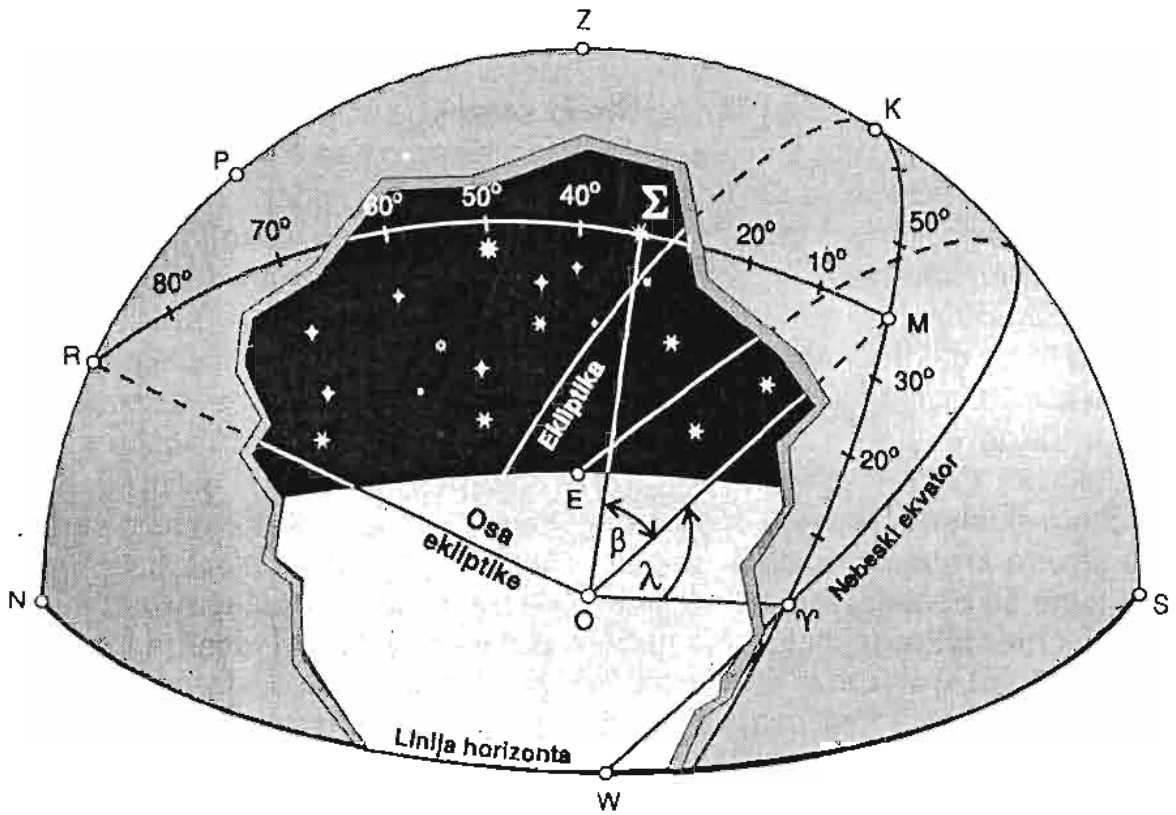
Neka je nebesko tijelo u tački Σ . Njegove koordinate su **ekliptička longituda** (λ) i **ekliptička latituda** (β). Longitude se, kao i rektascenzije, računaju u smjeru suprotnom od smjera rotacije nebeske sfere. Mjeri-

mo ih od 0° do 360° . Latitude se računaju od ekliptike do polova, na obje strane. Pri tome su južne latitude negativne.

Galaktički koordinatni sistem

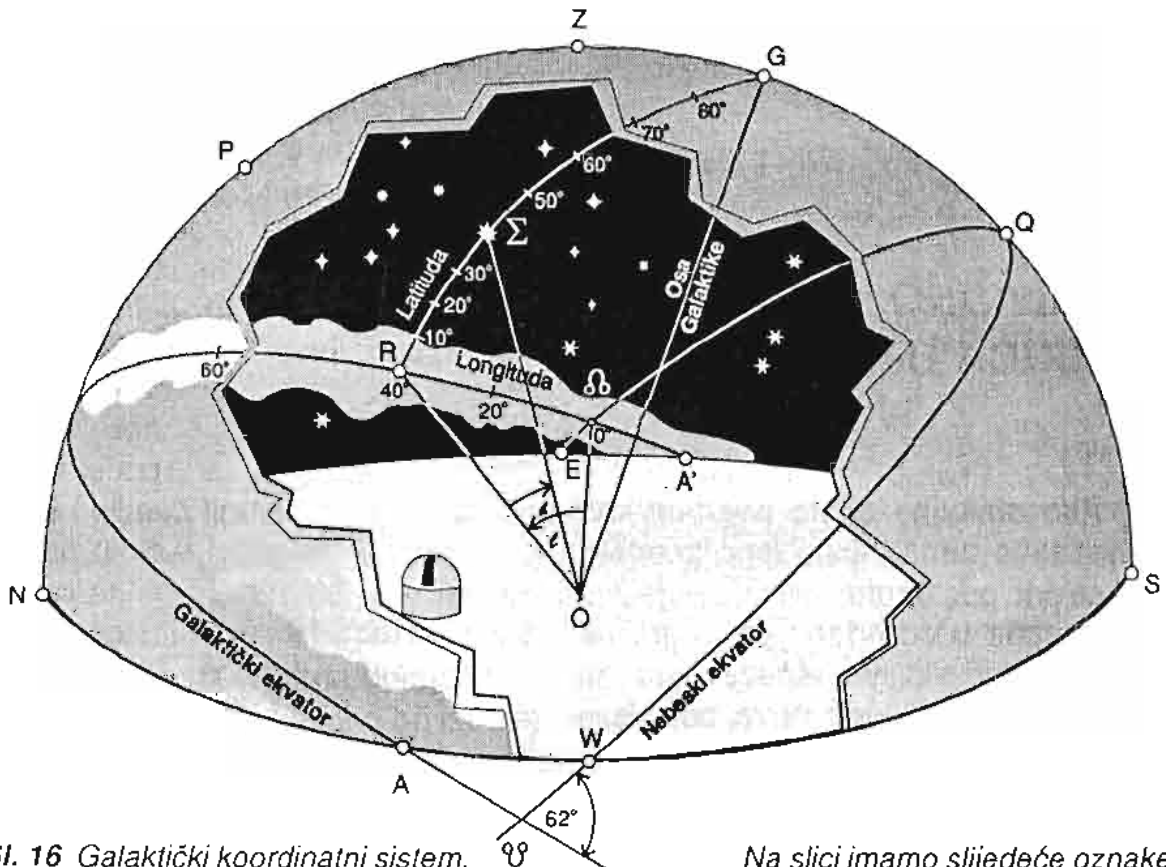
Kada se vrše razmatranja strukture naše galaksije, tada je neophodno koristiti koordinatni sistem u kome osnovni krug leži u ekvatorskoj ravni Mliječnog Puta. Kroz središnje dijelove svjetlucave trake koja na nebu predstavlja milijarde zvijezda naše galaksije, možemo iscrtati liniju koja predstavlja tzv. galaktički ekvator. U odnosu na nebeski ekvator, on je nagnut za ugao od oko 62° .

Posmatrajmo sliku 16. U galaktičkom sistemu, svaka zvijezda ima dvije koordinate i to **galaktičku širinu** koja se označava sa b i **galaktičku dužinu** koja se označava sa l .



Sl. 15 Ekliptički koordinatni sistem.

Definiramo: $\Sigma OM = \beta = \text{latituda}$. $M O \gamma = \lambda = \text{longituda}$. Sa crteža je vidljivo da zvijezda Σ ima koordinate: longituda $\lambda = 40^\circ$, a latituda $\beta = +33^\circ$.



Sl. 16 Galaktički koordinatni sistem.

Na slici imamo slijedeće oznake: WQE - nebeski ekvator, δOR - galaktička širina ili latituda (b), $R O \delta$ - galaktička dužina ili longituda (l), AA' - galaktički ekvator, G - sjeverni galaktički pol, δ i γ - tačke presjeka galaktičkog i nebeskog ekvatora. U ovom sistemu, zvijezda Σ ima koordinate: galaktička longituda = 40° , galaktička latituda = $+40^\circ$.

Kao i u prethodnim slučajevima, nakon što smo definirali galaktički ekvator, uočavamo galaktičke polove G i G'. Na sl.16 prikazan je samo sjeverni galaktički pol G. Od pola, kroz zvijezdu povlačimo luk do presjeka sa galaktičkim ekvatorom u tački R. Galaktička širina se mjeri u stepenima i to od 0° na galaktičkom ekvatoru, do 90° u polovima. Galaktičke širine ispod galaktičkog ekvatora su negativne. Galaktička dužina se mjeri po galaktičkom ekvatoru u smjeru suprotnom od smjera kretanja kazaljke na satu. Pri tome se početak računa od jedne presječne tačke galaktičkog i nebeskog ekvatora. Ona se nalazi u sazviježđu Orla i ima oznaku δ . U ekvatorskom sistemu, ova tačka ima koordinate:

$$\alpha = 18^{\text{h}} 40^{\text{m}} \quad \delta = 0^{\circ}$$

Sjeverni galaktički pol ima u ekvatorskom sistemu koordinate:

$$\alpha = 12^{\text{h}} 49^{\text{m}} \quad \delta = +27^{\circ} 24'$$

PRIVIDNO KRETANJE SUNCA U ODNOSU NA ZVIJEZDE

Ako dovoljno često posmatramo zvjezdano nebo, lako ćemo primjetiti da se ono postepeno mijenja. Pojedina sazviježđa u određeno doba godine prestaju biti vidljiva, iščezavajući na zapadu, dok se druga, nova, pojavljuju na istoku. To znači da se Sunce prividno pomjera među zvijezdama u direktnom smjeru i pri tome se njegova rektascenzija neprekidno mijenja. Ljeti se Sunce pomjera ka sjeveru, a zimi ka jugu. Ako bi smo bilježili putanju

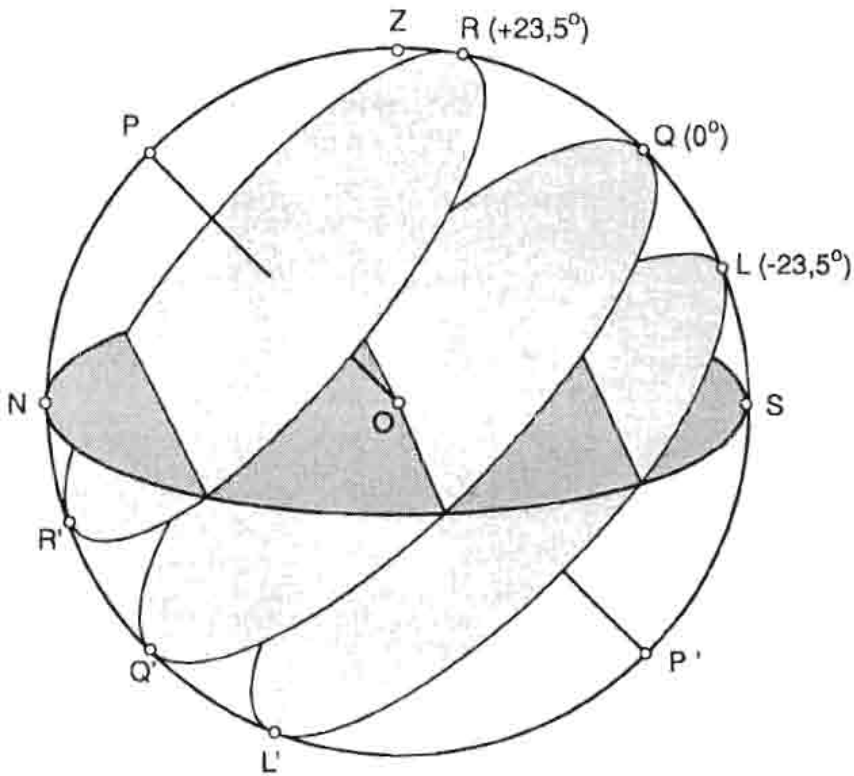
kojom se središte Sunca pomjera tokom jedne godine, vidjeli bi da ono opisuje na nebu veliku kružnicu koju poznamo kao **ekliptiku**.

Na ekliptici postoje četiri karakteristična položaja u kojima se Sunce nalazi u određenim datumima: Oko 21.marta (ožujka) je **proljetna ravnodnevica ili proljetni ekvinocij**. Tada središte Sunca prolazi kroz tačku Υ , odnosno kroz jedno od presjecišta nebeskog ekvatora i ekliptike. Nakon toga, Sunce počinje da se penje od ekvatora ka sjeveru. Ovaj datum vezan je za početak proljeća na sjevernoj polukugli Zemlje i jesen na južnoj. U proljetnoj tački, Sunce ima rektascenziju od 0^h i deklinaciju od 0°.

Oko 22. juna (lipnja) Sunce dostiže tačku koja je maksimalno udaljena od nebeskog ekvatora. To je trenutak **ljetnog solsticija (suncostaja)**. Rektascenzija Sunca je tada 6^h, a deklinacija +23,5°. Za sjevernu polukuglu Zemlje to je datum početka ljeta.

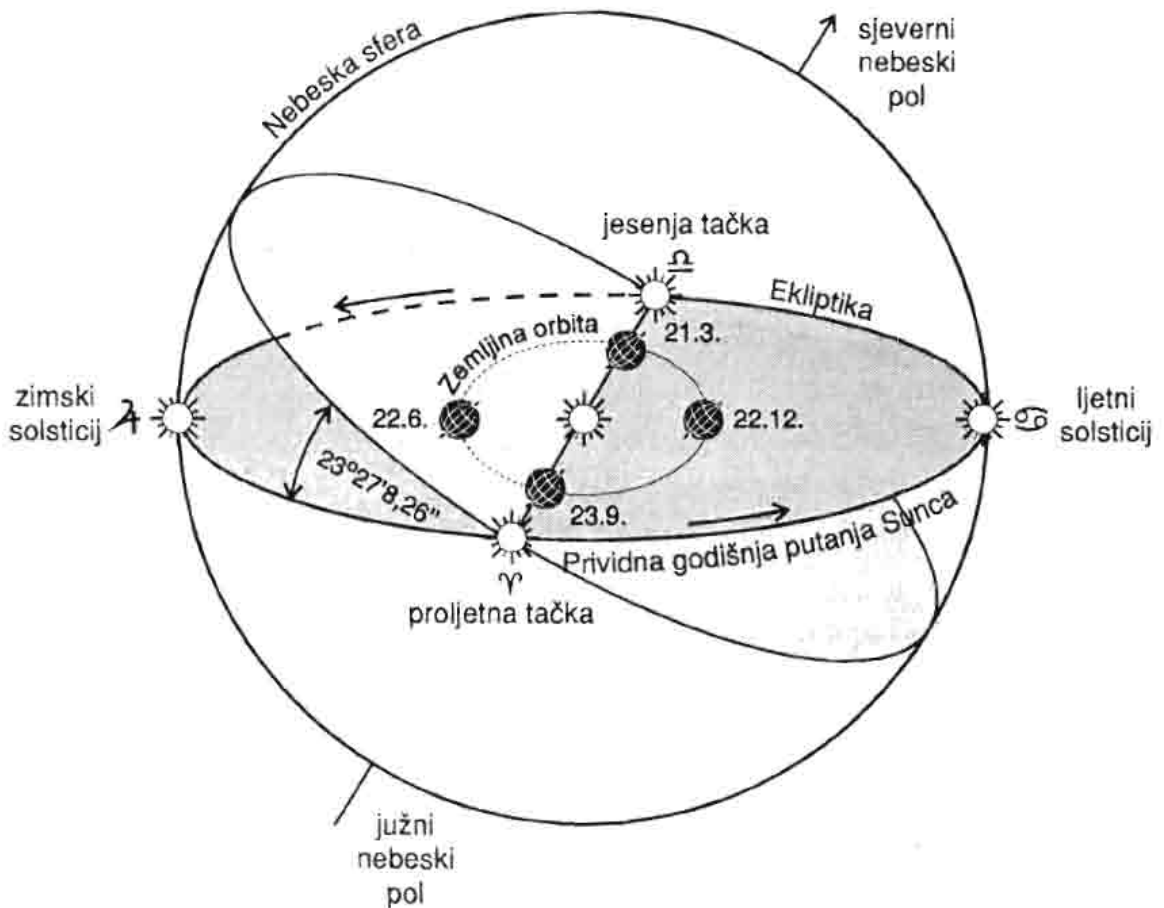
Jesen na sjevernim širinama počinje oko 23.septembra (rujna). U tom trenutku Sunce je ponovo na nebeskom ekvatoru u tzv. jesenjoj tački koja ima oznaku Ω . Tog datuma je **jesenja ravnodnevica (jesenji ekvinocij)**. Rektascenzija Sunca iznosi 12^h, a deklinacija je 0°. Konačno, oko 22. decembra (prosina), Sunce je u tački **zimskog solsticija**. To je početak zime na sjevernoj polukugli Zemlje i Sunce je u najnižoj mogućoj tački u odnosu na nebeski ekvator. Rektascenzija Sunca je tada 18^h, a deklinacija -23,5°.

U periodu od 21.03. do 23.09. dan je duži od noći na sjevernoj polukugli. Sunce u tom intervalu izlazi sjevernije od istočne tačke, a zalazi sjevernije od zapadne tačke. 22.06. je najduži dan i najkraća noć. Od 23.09. do 21.03. Sunce izlazi južno od istočne tačke, a zalazi južno od zapadne tačke. U

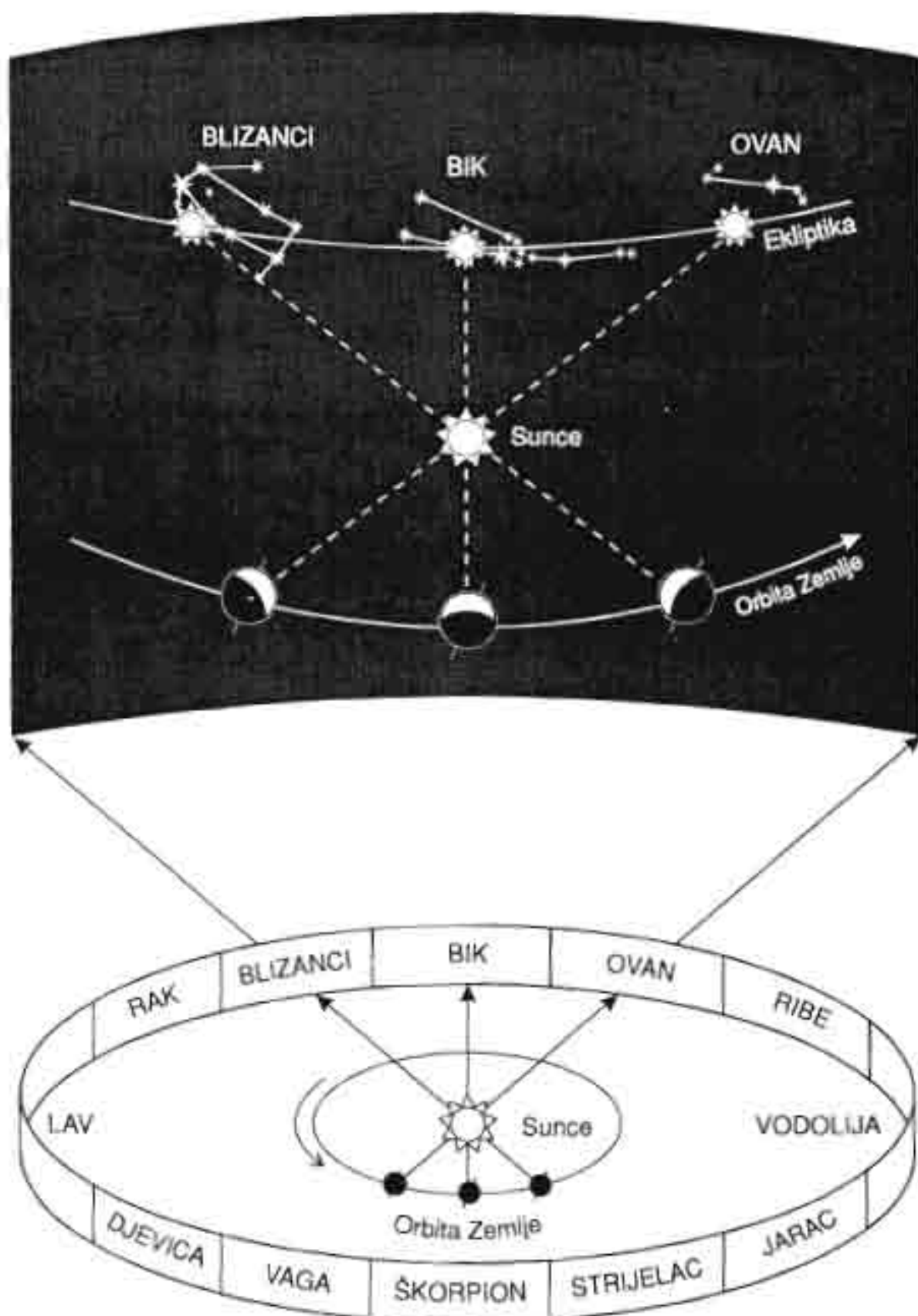


SI.17 Prividne putanje Sunca u dane ekvinocija i solsticija.

Uočimo: QQ' - nebeski ekvator, RR' - prividna dnevna putanja Sunca oko 22 juna (lipnja), QQ' - prividna dnevna putanja Sunca oko 21 marta (ožujka) i oko 23 septembra (rujna), LL' - prividna dnevna putanja Sunca oko 22 decembra (prosinca).



SI.18 Prikaz kretanja Zemlje oko Sunca i projekcija tog kretanja na nebeskoj sferi. Označene su tačke ekvinocija i solsticija.



SI.19. *Prividno godišnje kretanje Sunca kroz sazviježđa Zodijsaka. U detalju na gornjem dijelu slike, vidljivo je kretanje sunčeve projekcije u periodu od petog do sedmog mjeseca.*

direktnoj vezi sa prividnim godišnjim kretanjem Sunca su godišnja doba, tj. njihova promjena. Tokom svog godišnjeg kretanja Sunce prolazi kroz 12 sazviježđa koja čine tzv. zodijski pojas. **Sazviježđa Zodijska** su: Ovan, Bik, Blizanci, Rak, Lav, Djevica, Vaga, Škorpion, Strijelac, Jarac, Vodolija i Ribe.

GEOGRAFSKA ŠIRINA I DUŽINA

U nekim problemima sferne astronomije, određenu ulogu imaju i koordinate tačkaka na Zemljinoj površini i njihov odnos sa tačkama, linijama i kružnicama na nebeskoj sferi. U ovim razmatranjima Zemlja se posmatra kao kugla, mada znamo da u stvarnosti ona nema takav oblik.

Na slici 20. prikazana je Zemljina kugla, smještena unutar nebeske sfere. Zemljina osa označena sa pp' , može se produžiti do tačkaka P i P' i time formirati nebesku ili svjetsku osu. Ravan koja je normalna na Zemljinu osu, a prolazi kroz središte Zemljine kugle, ujedno siječe ovu kuglu duž jednog velikog kruga koga nazivamo **ekvator**. Na slici 20. on je označen sa qq' . Na Zemljinoj kugli uočimo tačku M . Geografske koordinate ove tačke možemo definirati na slijedeći način.

Geografska dužina je ugao između meridijana (svaki veliki krug koji spaja polove je meridijan) povučenog kroz tačku M i nekog drugog meridijana uzetog kao početni. Međunarodnom konvencijom, odavno je prihvaćeno da početni meridijan bude onaj koji prolazi kroz staru kraljevsku opservatoriju u Greenwich-u kraj Londona (Velika Britanija).

To je tzv. **nulti ili početni meridijan** i dužine se od njega računaju na obje strane od $0^\circ - 180^\circ$. Istočne dužine se uzimaju kao negativne, a zapadne kao pozitivne. Vrlo često se izražavaju u satima, minutima i sekundama tj. vremenskim jedinicama.

Geografska dužina je ugao KOR i označava se grčkim slovom λ . Druga koordinata je **geografska širina**. Ona se obilježava grčkim slovom φ . Na slici 20. to je ugao KOM . Geografske širine su pozitivne sjeverno od ekvatora, a negativne južno od ekvatora.

Veza geografskih i nebeskih koordinata

Da bi smo utvrdili vezu koja postoji između geografskih i nebeskih koordinata, posmatrajmo sliku 21. Tu su prikazani: nebeska sfera, Zemlja i horizont posmatrača u tački M čija je geografska širina φ . Iz tačke M , kao središta jedne moguće nebeske sfere, povući ćemo pravu ka zenitu (Z). To je duž MZ . Ravan normalna na taj pravac je ravan horizonta. Nju ćemo obilježiti sa NS . Kružnica QQ' nam predstavlja nebeski ekvator. Paralelno sa osom pp' možemo povući nebesku osu PP' . Sa crteža 21. se lako ustanovljava da je geografska širina tačke M , označena sa φ , jednaka luku QZ ili luku NP . To se izvodi na osnovu jednostavnih geometrijskih relacija o uglovima sa paralelnim odnosno normalnim kracima. Konstatiramo da luk QZ nije ništa drugo nego deklinacija zenita u tački M . Ovi lukovi na našoj slici imaju oznake δ_z i h_p .

Činjenica da se geografska širina mjesta posmatranja javlja u proračunima nekih veličina sferne astronomije olakšava takva razmatranja. Posmatrajmo sliku 21. Na nebeskoj sferi

uočimo tačku Σ u momentu njene gornje kulminacije. Očigledno je da vrijedi relacija:

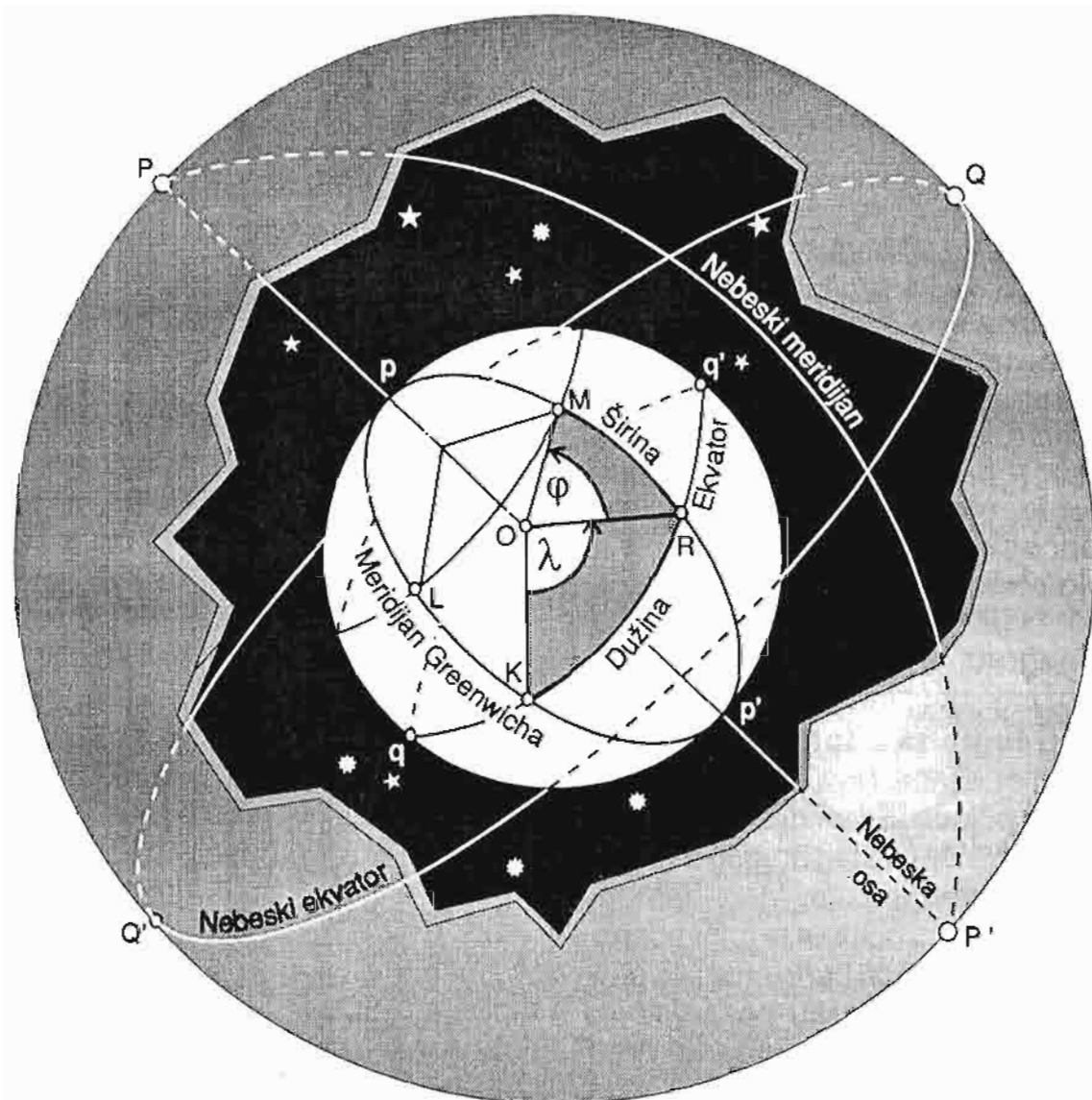
$$QZ = Q\Sigma + \Sigma Z \text{ ili } \varphi = \delta + z$$

gdje su: φ geografska širina, δ deklinacija tačke Σ , a z njeno zenitno rastojanje. Ako se nebesko tijelo nalazi u donjoj kulminaciji (tačka Σ'), tada iz gornjeg slijedi:

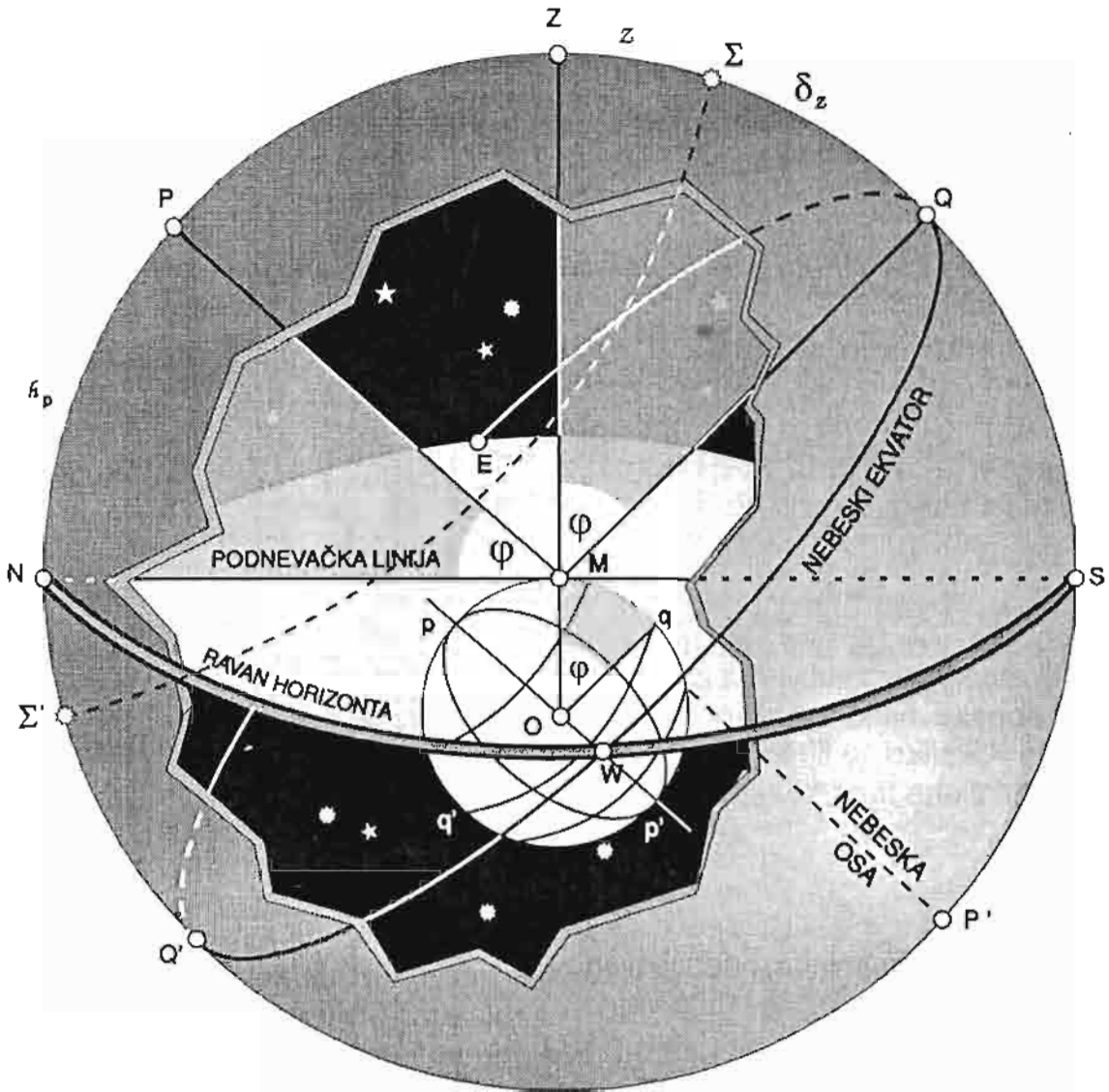
$$Q'\Sigma' + \Sigma'Z + ZQ = 180^\circ \text{ ili} \\ \delta + z + \varphi = 180^\circ$$

ASTRONOMSKO MJERENJE VREMENA

Još od prahistorije, čovjek je pokušavao da na neki način mjeri vrijeme. Njegovo proticanje imalo je praktični i kulturni značaj. Smatra se da je najraniji metod mjerenja vremena bio pomoću vertikalno pobodenog štapa koji je bacao sjenku. Ovaj štap se naziva **gnomon**. Kasnije dolazi do konstrukcija sunčevih, pješčanih i vodenih satova. U srednjem vijeku dolazi do razvoja mehaničkih satova, a u našem vremenu nakon električnih i elektronskih, dolazi se do atomskih satova.



Sl.20 Geografske koordinate tačke M na Zemljinoj površini. Geografska dužina $\lambda = ROK$, a geografska širina $\varphi = ROM$. Krug $pLKp'$ je meridijan Greenwicha.



Sl. 21 Veza između geografskih i nebeskih koordinata.

U najranijim periodima ljudske povijesti, neka osobita tačnost nije ni bila potrebna. Kada se vrijeme određivalo u odnosu na spoljni svijet, onda se to radilo na osnovu određenih periodičnih pojava kao što su rotacija nebeske sfere, kretanje Zemlje oko Sunca i sl. Danas u astronomiji susrećemo nekoliko vrsta vremena.

Zvezdano vrijeme

Ovaj sistem računanja vremena zasniva se na periodičnosti rotacije naše planete. Ono se može smatrati veoma ravnomjernim, jer precizna posmatranja ne pokazuju odstupanja veća od 0,005 sekundi za jedan obrt. Osnovna jedinica ovdje je jedan zvezdani dan. Taj dan se dijeli na 24

zvezdana sata, svaki zvezdani sat na 60 zvezdanih minuta, a jedan zvezdani minut ima 60 zvezdanih sekundi.

Po definiciji, **zvezdani dan** je vremenski razmak između dvije uzastopne gornje kulminacije tačke proljetne ravnodnevice. Sam trenutak gornje kulminacije uzima se za početak zvezdanog dana, a satni ugao Proljetne tačke govori o proteklom vremenu. Tako, na primjer, ako je taj satni ugao 30° , onda to znači da su protekla $2^h 0^m$ i 0^s zvezdanog vremena. Obično se zvezdano vrijeme obilježava slovom *s*.

Znamo da vrijeme za koje se Zemlja jednom okrene oko svoje ose

iznosi $23^{\text{h}} 56^{\text{m}} i 04^{\text{s}}$ srednjeg sunčevog vremena koje koristimo u svakodnevnom životu. Takođe je lako vidjeti da da vrijede i veze:

1 zvjezdani sat = $59^{\text{m}} 50^{\text{s}}$ sunčevog vremena

1 zvjezdana minuta = $59,8^{\text{s}}$ sunčevog vremena

Posmatrajmo sliku 22. i neku zvijezdu u tački Σ . Sa s ćemo označiti zvjezdano vrijeme, t je satni ugao zvijezde, a α njena rektascenzija. Vidimo sa slike da vrijedi:

$$s = t + \alpha$$

Prethodna formula je za slučaj kada je nebesko tijelo zapadno od meridijana. Ukoliko se tijelo nalazi istočno od meridijana, tada koristimo relaciju:

$$s = \alpha - t$$

Kada tijelo kulminira, onda je njegov satni ugao t jednak nuli i tada vrijedi:

$$s = \alpha$$

Pravo i srednje sunčevo vrijeme

U svakodnevnom životu, iz praktičnih razloga, nije podesno koristiti zvjezdano vrijeme, jer u toku godine, zvjezdani dan počinje u različite dijelove dana li noći. Zato se za svakodnevne potrebe, koristi vrijeme koje je zasnovano na prividnom dnevnom kretanju Sunca.

Pravi sunčev dan je vremenski razmak između dvije uzastopne gornje kulminacije središta Sunca. Trenutak gornje kulminacije je tzv. **pravo podne** i u tom satu se uzima da je 0^{h} pravog vremena. Može se reći i da je **pravo**

sunčevo vrijeme satni ugao središta Sunca kome smo dodali 12^{h} tj.

$$T = t + 12^{\text{h}}$$

Problem sa ovim vremenom je u tome što se dužina pravog sunčevog dana u toku godine mijenja. Znamo da je prividno godišnje kretanje Sunca ustvari odraz kretanja Zemlje oko njega. Pošto je putanja Zemlje elipsa, to se njena brzina u toku godine mijenja. Zemlja se brže kreće u zimskim, a sporije u ljetnim mjesecima. Sem toga, Zemljina putanja oko Sunca je nagnuta prema ravni nebeskog ekvatora. Stoga, kad bi se Zemlja i ravnomjerno kretala, njen satni ugao se ne bi mijenjao ravnomjerno. Zbog ovoga pravi sunčev dan ima različite dužine tokom godine.

Da bi se ovaj nedostatak uklonio, uveden je pojam "**srednjeg sunca**". To je neka fiktivna tačka koja se ravnomjerno kreće po nebeskom ekvatoru u istom smjeru u kome se pravo Sunce kreće po ekliptici. **Srednji sunčev dan** se onda definira kao vremenski razmak između dvije uzastopne gornje kulminacije srednjeg Sunca. Srednje vrijeme se mjeri satnim uglom srednjeg Sunca. Srednji dan ima 24 srednja sata, 1440 srednjih minuta i 86 400 srednjih sekundi. Od 1967. godine je u upotrebi atomska sekunda.

U svakodnevnom životu za početak srednjeg dana uzima se ponoć, tj. trenutak donje kulminacije srednjeg Sunca. To je tzv. **građansko vrijeme**. Ako srednje vrijeme označimo sa m a građansko sa T , onda vrijedi relacija:

$$T = m + 12^{\text{h}}$$

Ukoliko je $m > 12^{\text{h}}$, uzima se predznak -, a ako je $m < 12^{\text{h}}$, onda koristimo predznak +.

Srednje vrijeme na meridijanu Greenwich-a se naziva **srednje Greenwich-ko vrijeme** ili **svjetsko vrijeme**. Označava se sa **UT** (Universal Time).

Na nekoj geografskoj dužini λ , srednje sunčevo vrijeme je:

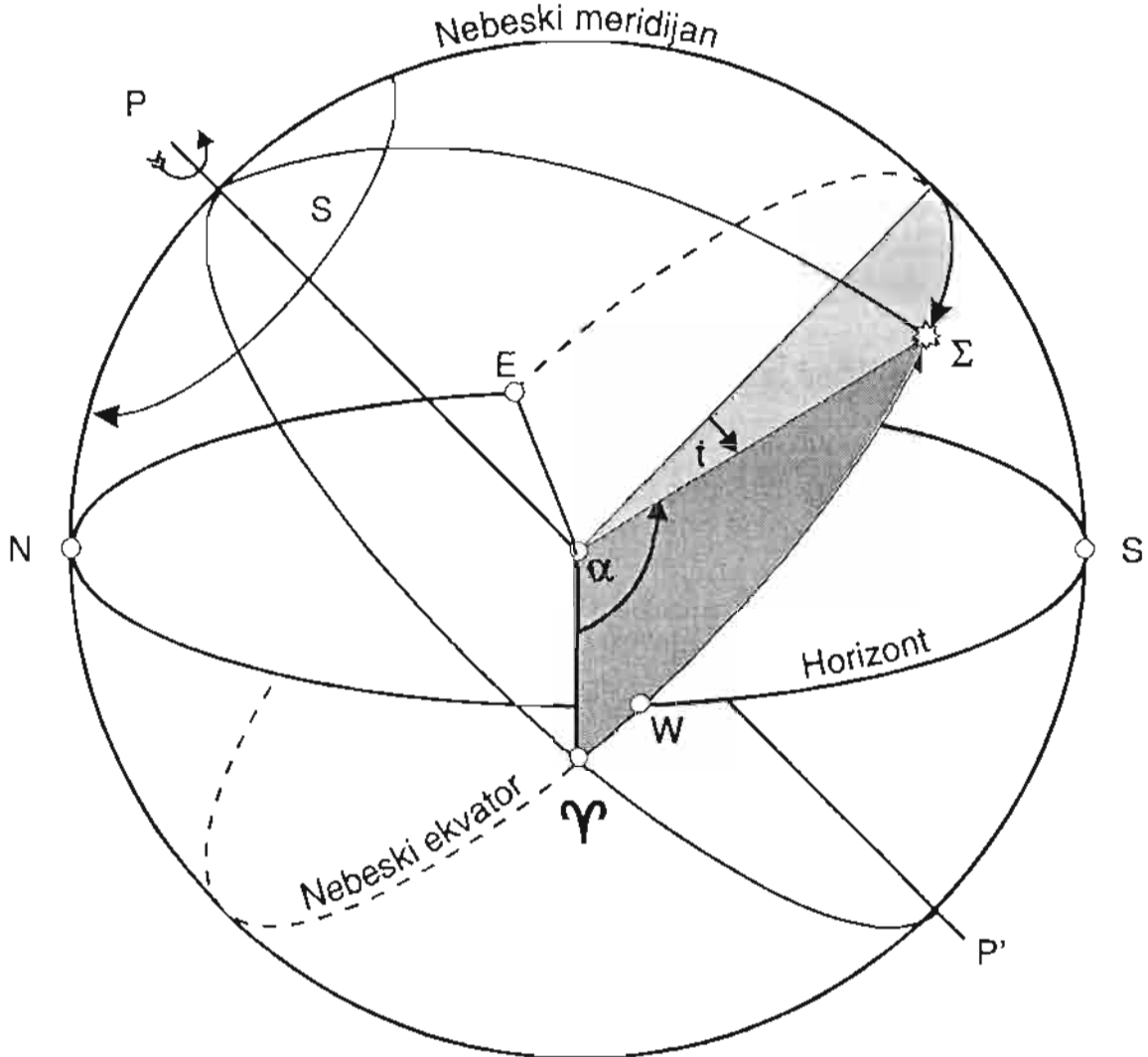
$$T = UT + \lambda$$

Da bi smo mogli prelaziti sa pravog na srednje vrijeme, potrebno je poznavati njihovu razliku. Ona je jednaka razlici rektascenzija centara pravog i srednjeg Sunca. Obično tu razliku nazivamo **vremenskom jednadžbom**. Ako pravo vrijeme označimo sa t_p , a srednje vrijeme sa m , vremenska jednadžba će glasiti:

$$\eta = m - t^p$$

Određivanje vremenske jednadžbe je veoma složen posao. Treba uzeti u proračun mnogobrojne nepravilnosti u kretanju Zemlje. Ova jednadžba očito pokazuje koliko minuta i sekundi treba dodati ili oduzeti pravom vremenu da bi smo dobili srednje vrijeme. Te vrijednosti se nalaze u astronomskim efemeridama (tablicama).

Promjena ove jednadžbe prikazana je na grafiku (sl.23). Vidimo da u toku godine postoje dva minimuma i dva maksimuma. Tako np. 12. februara (veljače) ona ima vrijednost od -14,4 minuta, a 4. novembra je +16,4 min.



Sl. 22. Uz definiciju zvjezdanog vremena

Mjesno i zonsko vrijeme

Sasvim je očigledno da proljetna tačka neće proći kroz meridijan istog sata za sve posmatrača na Zemlji. Naime, svaki posmatrač ima svoj meridijan. Naravno, ako se posmatrači nalaze na istom meridijanu, tada će se prolaz za sve njih desiti u istom momentu. Zvezdano i ostala vremena će se razlikovati, u zavisnosti od geografske dužine posmatrača.

Pretpostavimo da se tačka proljetne ravnodnevice nalazi u pravcu meridijana $P_N A$. Tada je na tom meridijanu zvezdano vrijeme jednako 0^h . Sa s_1 označićemo zvezdano vrijeme na meridijanu $P_N M_1$, a sa s_2 zvezdano vrijeme na meridijanu $P_N M_2$. Meridijan Greenwich-a je označen sa G. Očigledno je da vrijedi relacija:

$$\lambda_2 - \lambda_1 = s_2 - s_1$$

gdje su: λ_2 geografska dužina mjesta M_2 , a λ_1 geografska dužina mjesta M_1 . Na isti način se može postaviti relacija:

$$\lambda_2 - \lambda_1 = t_2 - t_1$$

gdje su t_1 i t_2 satni uglovi tačaka M_1 i M_2 .

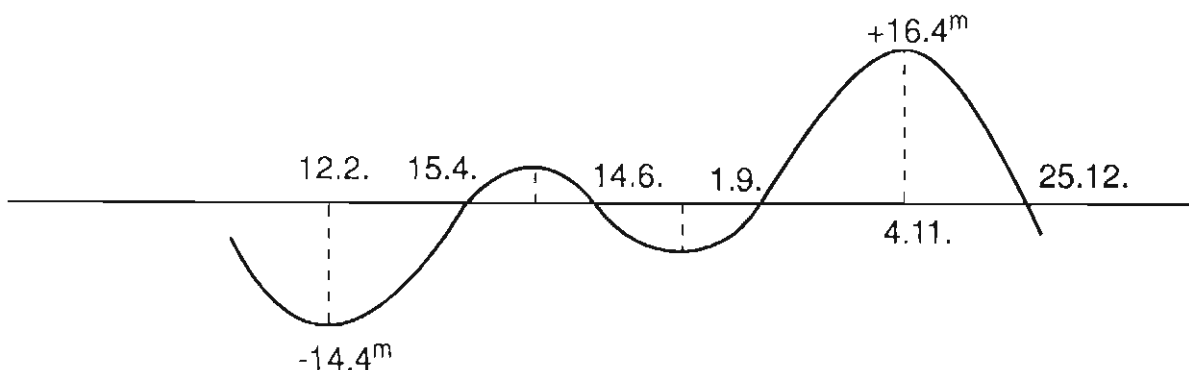
Dakle, zvezdano, pravo, srednje i građansko vrijeme zavise od geografske dužine mjesta iz koga se računaju. Time smo došli do pojma **mjesnog vremena**. Postoji, dakle, mjesno

zvezdano, mjesno pravo, mjesno srednje i mjesno građansko vrijeme. Iz praktičnih razloga, u svijetu se danas koristi zonsko vrijeme. Ovakvih zona ili pojaseva ima 24. Svako to **zonsko vrijeme** je u stvari mjesno građansko vrijeme jednog od meridijana sa geografskom dužinom od 0° , 15° itd., do 180° . Oni se nazivaju srednji meridijani. Bosna i Hercegovina se nalazi u zoni srednjeevropskog vremena koje se skraćeno označava sa **SEV** ili **CET (Central European Time)**. Ono se od vremena na meridijanu Greenwich-a razlikuje za jedan sat. Dakle, svjetskom vremenu je potrebno dodati jedan sat da bi smo dobili koje je vrijeme u zoni srednje-evropskog meridijana.

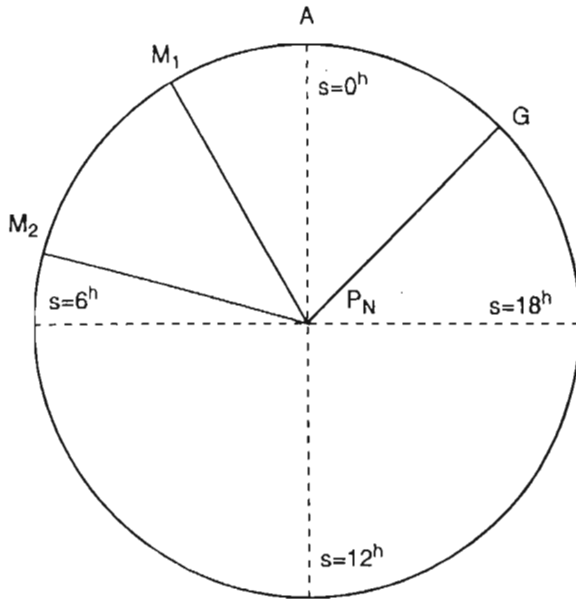
U Bosni i Hercegovini je, po uzoru na druge evropske države, uvedeno **ljetno vrijeme**. U periodu od marta (ožujka) do septembra (rujna), dodaje se jedan sat. U praksi se to obavlja tako što se posljednje nedjelje trećeg mjeseca u 2 sata računa da su 3 sata. Posljednje nedjelje u rujnu, taj dodati sat se vraća tako što se u 3 sata počinje računati da je 2 sata.

Svjetsko, efemeridsko i terestrijalno dinamičko vrijeme

Već smo naučili da svjetsko vrijeme predstavlja srednje sunčevo vrijeme u



Sl.23 Vremenska jednadžba



Sl.24 Zemljina kugla posmatrana iz tačke iznad sjevernog pola

Greenwich-u, računato od ponoći. Označava se sa UT. Ono se dugo koristilo kao osnovno vrijeme u astronomskim efemeridama. Preciznija posmatranja u posljednjim decenijama pokazala su da Zemlja usporava svoju rotaciju. Zbog toga se dan produžava za nekih 0,0016 sekundi za svakih 100 godina. Pored ovoga, postoje i drugi poremećaji koji utiču na period rotacije naše planete. Zato se ukazala potreba da se nađe neko vrijeme koje bi teklo ravnomjerno. Uvedeno je **efemeridsko vrijeme** ili ET (od **Ephemeris Time**) čije su jedinice strogo konstantne.

Kao etalon, kod definiranja ovog vremena, uzeto je vrijeme obilaska Zemlje oko Sunca. Odlukom Međunarodne astronomske unije, za početak računanja efemeridskog vremena, uzeta je tropska godina koja je započela 0-og januara (siječnja) u 12 sati svjetskog vremena godine 1900,0. Jedan efemeridski dan se definira kao 365,242 198 79-i dio tropske godine. **Efemeridska sekunda** je 86 400-i dio efemeridskog dana ili 31 556 925,9747 -i dio tropske godine. Inače, efemeridsko vrijeme se povezuje sa svjetskim vremenom pomoću relacije:

$$ET = UT + \Delta T$$

Tačna vrijednost korekcije ΔT se dobija iz preciznih posmatranja položaja Mjeseca. Ona može biti pozitivna ili negativna. Kod mjerenja gdje nije potrebna visoka preciznosti, možemo i dalje koristiti svjetsko vrijeme.

1984. godine, uvedeno je **terestrijalno dinamičko vrijeme** ili **TDT** (**Terrestrial Dynamic Time**). Ono se koristi u geocentričnim efemeridama tijela Sunčevog sistema umjesto efemeridskog vremena. Vezano je uz atomsko vrijeme. Razlika između terestrijalnog i efemeridskog vremena zanemarljiva je u svakodnevnoj praksi. Postoji veza:

$$TDT = UT1 + \Delta T$$

Ovdje je UT1 svjetsko vrijeme računato od 0h u jedinicama srednjeg sunčevog dana. Za 1992. godinu ΔT je iznosilo +58 sekundi.

Atomsko vrijeme

Neravnomjernost odvijanja periodičnih procesa u makrokosmosu kao što su rotacija i revolucija Zemlje, kretanje Mjeseca oko Zemlje i sl. vodila je traženju pouzdanijih načina za mjerenje vremena. Oni su nađeni u mikrokosmosu. Najprije su konstruirani **kvarcni satovi**. Kod njih se puštanjem električne struje izaziva osciliranje kristala kvarca u vrlo visokoj frekvenciji. Ovo osciliranje odvija se sa izuzetno velikom pravilnošću. Kvarcni satovi mogu da postignu tačnost do 10^{-6} sekundi.

Kasnije se konstruišu **atomske satove** kod kojih se koristi elektromagnetno treperenje koje nastaje u atomima pri kvantnim prelazima među

pojedinih energetskim nivoima. Tačnost ovakvih uređaja iznosi od 10^{-11} do 10^{-12} sekundi.

Kao etalon, danas se uzima trepenje atoma izotopa metala cezija (izotop 133). Vrijeme mjereno u ovom sistemu naziva se **međunarodno atomsko vrijeme** ili **TAI**. Za osnovnu jedinicu atomskog vremena uzima se **atomska sekunda**. Ona je jednaka dužini trajanja 9 192 631 770 perioda zračenja koje odgovara rezonantnoj frekvenciji kvantnog prelaza između dva hiperfina nivoa osnovnog stanja atoma cezija 133.

Ovo je definicija sekunde koja je ušla u Međunarodni sistem fizičkih jedinica (SI). Atomsko vrijeme ne zavisi od pominjanih prirodnih procesa i održava se međunarodnom satnom službom u kojoj se uspoređuju svi atomski satovi sa navedenim etalom. Pri tome se dužina tropske i kalendarske godine, kojima se služimo u svakodnevnom životu, i dalje određuje astronomskim metodama.

Kalendar

Za astronome, kalendar predstavlja kombiniranje broja dana u mjesecu i broja mjeseci u godini i to na takav način da određene bitne pojave u prirodi padaju u približno iste datume. Naziv kalendar potiče od latinske riječi *calende*, kojom su Rimljani obilježavali prvi dan svakog mjeseca. Astronomija je djelimice i nikla iz ovakvih i sličnih potreba u najranijim periodima ljudske civilizacije.

Osnovna duža vremenska jedinica je **tropska godina**. To je vremenski razmak između dva uzastopna prolaza središta Sunca kroz tačku proljetne ravnodnevice. Na sličan način definiramo i **zvjezdanu godinu**. To je vremen-

ski razmak između dva uzastopna položaja Sunca u odnosu na neku zvijezdu. Pomenuta tropska godina sadrži 365,24220 sunčevih dana. Zvjezdana godina pak ima 365,25636 sunčevih dana, tj. očigledno je duža od tropske za nekih dvadeset minuta.

Iz praktičnih razloga, uvedene su i kraće jedinice, nedjelje i mjeseci. Tokom povjesti čovječanstva korišteni su različiti kalendari vezani uz kretanje Sunca i Mjeseca. Tako srećemo lunarne, solarne i luni-solarne kalendare.

Savremeni kalendar zasnovan je na kretanju Sunca. U rimsko doba, koristio se kalendar koji je imao godinu sa 364 dana. Zbog velike razlike između ovakve kalendarske i tropske godine, došlo je do reforme. **Julije Cezar** je, prema savjetu astronoma **Sosigena**, uveo godinu od 365 dana, a svaka četvrta bila je prestupna i sadržala 366 dana. Ova godina nazvana je **julijanska** i sadržala je 365,25 srednjih sunčevih dana. Ona je nešto duža od tropske godine.

Zbog toga se već nakon 128 godina nakupi razlika od jednog dana. To je dovelo do nove reforme kalendara. Nju je sproveo papa **Grgur XIII** 1582. godine. Da bi se izvršilo usklađivanje ova dva kalendara, uzelo se da je poslije datuma 04.10.1582. godine, sljedeći dan bio 15.10.1582. godine. Ovaj kalendar poznajemo kao **gregorijanski**, za razliku od prethodno opisanog koga nazivamo julijanski kalendar. Da bi se postiglo što bolje prilagođavanje ovog kalendara prirodnom toku stvari, uzeto je da, od godina kojima se završavaju stoljeća, budu prestupne samo one godine koje su djeljive sa 400.

Ova gregorijanska godina traje 365,2425 dana, tj. ona je za 0,0003

dana duža od tropske. Razlika od jednog dana nakupi se tek nakon 3333 godine. **Savremeni kalendar** koga koristimo u svakodnevnom životu je gregorijanski. Treba napomenuti, da srpska pravoslavna crkva nije prihvatila reformu i da ona i dalje koristi julijanski kalendar. Zato pravoslavna nova godina počinje 14. januara (siječnja).

Islamski ili hidžreški kalendar počinje sa godinom 622 kada je 16. jula (srpnja), **Muhammed, a.s.** prešao iz Meke u Medinu (Hidžra). Od tog datuma se računa muslimanska era. Zbog toga je 1995. godina u hidžreškom kalendaru 1415/1416. Ovaj kalendar je u potpunosti lunarni i mjeseci mu naizmjenično imaju 30 odnosno 29 dana. Godina ima 354 dana, a kada je prestupna (Kabisa), tada ima 355 dana.

Mjeseci nose nazive: muharrem, safer, rebiul-evvel, rebiul-ahir, džumadel-ula, džumadel-ahir, redžeb, šaban, ramazan, ševval, zul-kade i zul-hidždže. Ovaj kalendar je prilično tačan i razlika od jednog dana nakupi se tek nakon 2000 godina. Novi dan počinje nakon zalaska Sunca i završava se sa narednim zalaskom Sunca.

Jevrejski kalendar je luni- -solarni. Uspostavljen je od strane **Hillela II** u četvrtom stoljeću. U običnoj godini ima 12 mjeseci sa 30 i 29 dana naizmjenično. U prestupnim godinama dodatni mjesec se ubacuje između mjeseci Ševat i Adar. Dan kao i kod islamskog kalendara počinje i završava se sa zalaskom Sunca.

Radi usaglašavanja raznih sistema računanja vremena, uveden je tzv. **julijanski period**. Predložio ga je **Josef Skaliger** 1583. godine. Julijanski dan je redni broj srednjih sunčevih dana koji se počinju računati od 01.01.4713. godine prije naše ere.

Julijanski dan počinje u podne u Greenwich-u tog dana. Tabele sa julijanskim danima date su u astronomskim efemeridama. Inače, julijanski period od 7980 godina se sastoji od proizvoda brojeva 28, 19 i 15. Ti brojevi označavaju tri ciklusa: sunčev od 28 godina nakon koga dani u sedmici počinju da padaju u iste datume u mjesecu kao na početku ciklusa; Metonov ciklus ili "Mjesečev krug" od 19 godina nakon koga se faze Mjeseca ponavljaju u iste datume u mjesecu; treći ciklus od 15 godina koji se zove "rimski broj" nema astronomsko značenje. Poslije jednog julijanskog perioda od 7980 godina, isti redni brojevi ove tri periode se ponavljaju istim redom.

ASTRONOMSKA REFRAKCIJA

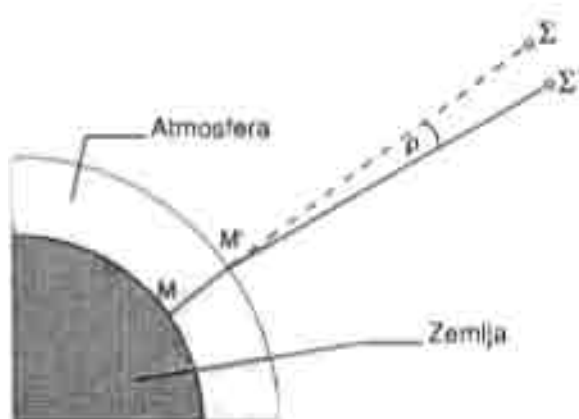
Poznato je da je Zemlja obavijena slojem atmosfere koja utiče na svjetlost što nam stiže od raznih nebeskih tijela. Atmosfera prelama zrake svjetlosti i ugao između pravca svjetlosnog zraka $\Sigma'M'$ i pravca duž koga se tijelo vidi, $\Sigma M'$ (slika 25), naziva se astronomska refrakcija.

Refrakcija naročito dolazi do izražaja kada se tijela koja posmatramo nalaze nisko nad horizontom. Tu su slojevi atmosfere najgušći pa je prividno pomijeranje nebeskog tijela najveće. Refrakciju je neophodno poznavati i računavati, jer bi inače dolazilo do grešaka kod mjerenja položaja nebeskih tijela. Kod grubljih proračuna visine nekog tijela, dovoljno se koristiti sljedećom aproksimativnom formulom:

$$\rho = 60,3'' \operatorname{tg} z$$

Ovdje su: ρ - refrakcija i z - zenitno rastojanje posmatranog tijela.

Prethodna formula ima tačnost od $0,1'$, ukoliko je visina tijela veća od 20° . Ukoliko je visina tijela oko 10° , tačnost je oko $1'$, a pri visinama manjim od 10° tačnost je sve manja. Obično se u



Sl.25 Uprošten izgled pojave astronomske refrakcije. U stvarnosti, atmosfera je građena od velikog broja slojeva i svaki od njih na različit način prelama upadne zrake svjetlosti.

efemeridama daju tabele refrakcije kakva je na primjer sljedeća:

zenitno rastojanje	refrakcija
0°	$0'$
10°	$0'10''$
30°	$0'34''$
60°	$1'04''$
80°	$5'18''$
89°	$18'09''$
$89^\circ 30'$	$29'26''$
90°	$34'54''$

ASTRONOMSKA ABERACIJA

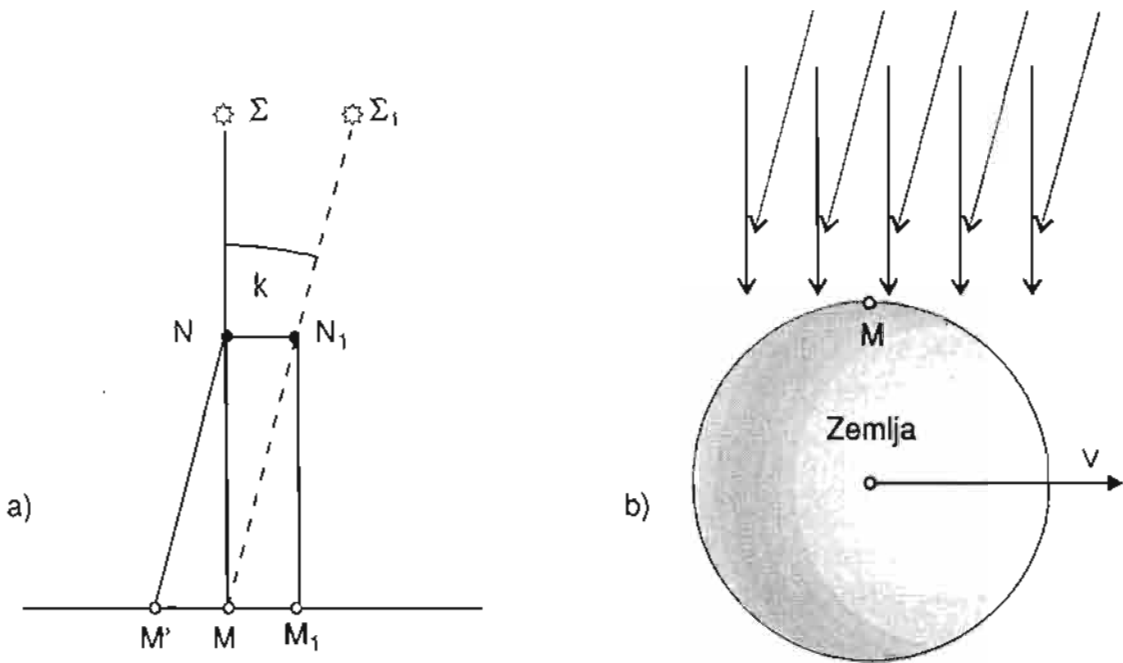
Svjetlost se kao elektromagnetna pojava kreće konačnom brzinom koja iznosi $299\,793\text{ km s}^{-1}$. Zemlja se oko Sunca kreće sa brzinom od oko 30 km s^{-1} . Ove dvije činjenice uvjetuju pojavu astronomske aberacije. Ovu aberaciju ne treba miješati sa optičkom aberacijom. Zbog aberacije, nebeska tijela vidimo u pravcima koji se razlikuju od onih u kojima bi ona bila kada bi Zemlja mirovala ili, kada bi brzina svjetlosti bila beskonačno velika.

Znamo da Zemlja ima dva osnovna kretanja. Jedno je rotacija oko sopstvene ose za 24 zvezdana sata, drugo je godišnje kretanje oko Sunca. Zbog toga postoje dvije osnovne vrste aberacije. To su **dnevna i godišnja aberacija**.

Posmatrajmo sliku 26. Zvijezda je u tački Σ . Sa nje polazi svjetlosni zrak ka posmatraču u tački M. Pretpostavimo da se pravac kretanja tačke M poklapa sa pravcem MA, koji je normalan na pravac M Σ . Svjetlosni zrak, zbog svoje konačne brzine, neće pasti u središte vidnog polja teleskopa koji je uperen u pravcu MN. Da bi zvijezdu iz tačke Σ vidjeli u pravcu središta vidnog polja teleskopa, potrebno je instrument nagnuti za neki ugao. Time teleskop dovodimo u pravac M'N ili MN₁. Posmatrač će onda zvijezdu vidjeti po pravcu MN₁ u tački koju smo označili sa Σ_1 .

Ugao između pravca M Σ ka zvijezdi i prividnog pravca M Σ_1 , naziva se ugao aberacije. Označava se sa k i definira preko izraza:

$$\operatorname{tg} k = \frac{NN_1}{MN}$$



Sl.26 Astronomska aberacija.

Crtež a) daje geometrijsku shemu pojave. Posmatrač se nalazi u tački M. Zbog kretanja Zemlje, crtež b), neophodno je zakrenuti teleskop za izvjestan ugao. Aberacija je maksimalna kada se posmatrač kreće normalno na pravac prostiranja svjetlosti zvijezde.

Ako je v brzina posmatrača, a c brzina svjetlosti, onda će biti:

$$NN_1 = v(t_1 - t) \quad \text{i} \quad MN = c(t_1 - t)$$

Ovdje je t vremenski trenutak kada zrak svjetlosti stiže u tačku N, a t_1 vrijeme za koje zrak stigne u tačku M. Tada vrijedi:

$$\operatorname{tg} k = \frac{v}{c}$$

Posljednja formula predstavlja specijalni slučaj kada je kretanje normalno na pravac prostiranja svjetlosti koja stiže od zvijezde. Tada se ugao aberacije naziva **konstanta aberacije**. Prema savremenim mjerenjima, konstanta godišnje aberacije iznosi:

$$k = 20,5''$$

Istovremeno, konstanta dnevne aberacije izazvane rotacijom Zemlje je:

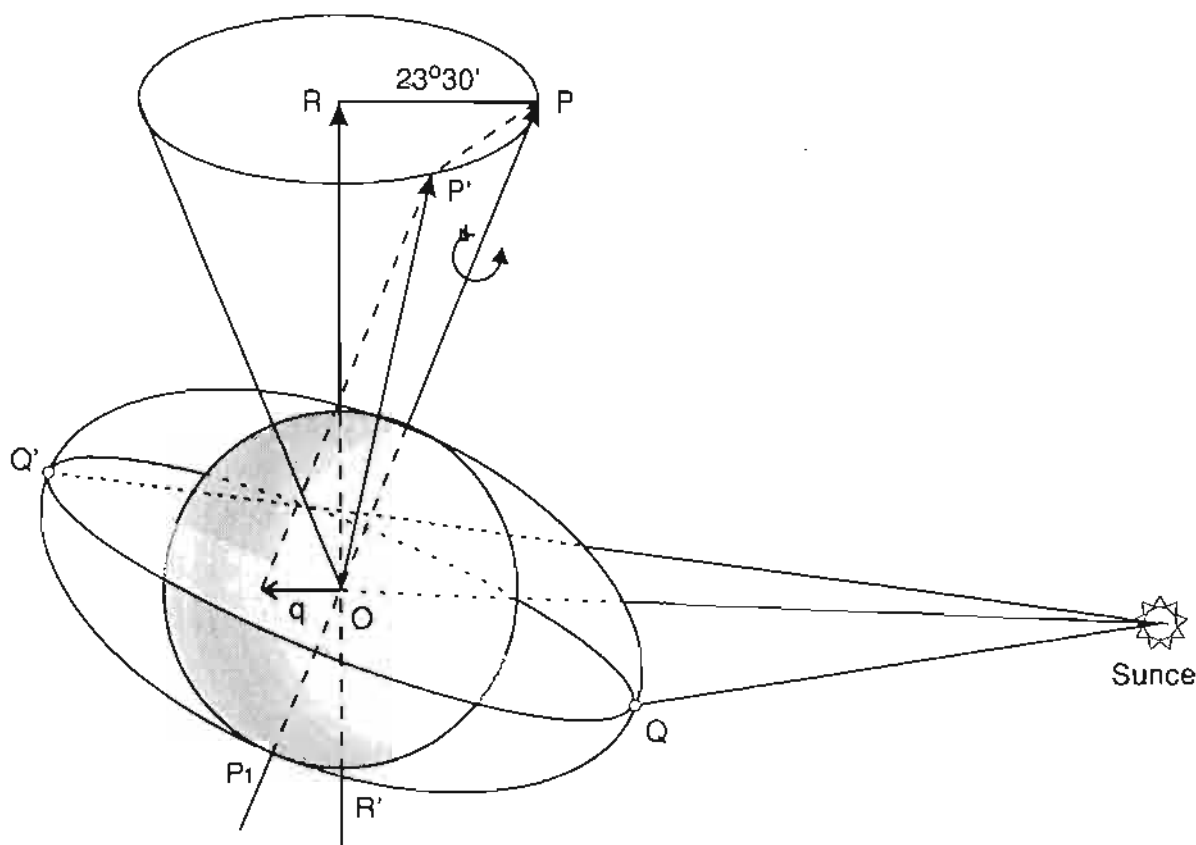
$$k_d = 0,32''$$

Vrijednost konstante za dnevnu aberaciju koju smo dali vodnosi se na tačku koja je smještena na ekvatoru. U nekoj tački sa geografskom širinom φ , ona će biti:

$$k_d = 0,32'' \cos \varphi$$

PRECESIJA ZEMLJE

Pojavu precesije otkrio je starogrčki astronom **Hiparh**, poznat kao sastavljač prvog poznatog zvjezdanog kataloga. On je ustanovio da se Proljetna tačka pomjera po ekliptici. Glavna ili **luni-solarna precesija** nastaje usljed djelovanja privlačnih sila Sunca i Mjeseca. Pošto Zemlja ima oblik rotacionog elipsoida, onda, se privlačno dještvo Sunca i Mjeseca neće na isti način manifestirati na sve tačke naše planete. Posmatračemo, radi jednostavnosti, samo djelovanje privlačne sile Sunca. Pogledajmo situaciju na slici 27.



SI.27 *Precesija Zemlje. Radi lakšeg shvatanja pojave, Zemljin elipsoid je na crtežu prenaplašen. U stvarnosti, oblik naše planete je bliži kugli (geoid).*

U odnosu na ravan ekliptike, Zemlja je nagnuta za ugao ROP . RR' predstavlja osu ekliptike, a PP' , osu Zemlje. Sunce će jače djelovati na tačku Q , nego na tačku Q' .

Kada bi Zemlja mirovala, onda bi, zbog djelstva privlačne sile Sunca, došlo do poklapanja njenog ekvatora sa ravinom ekliptike. Djelstvo privlačne sile u tački O opisujemo silom q . Pošto Zemlja rotira, njen ekvator neće doći u ravan ekliptike. Ako ova dva kretanja složimo po pravilu o paralelogramu sila, tada dobijamo jedno novo kretanje oko ose OP' . Ova osovina izlazi iz ravni crteža i to svojim sjevernim krajem ka posmatraču. Pri tome, nagib Zemljine ose prema osi ekliptike ostaje isti.

Ovo kretanje ima dugi period od 25 725 godina i to se naziva **platonaska godina**. Pomjeranje Proljetne tačke

usljed luni-solarne precesije iznosi oko $50,371''$ u toku jednog godine. Kao posljedica ovog kretanja, nebeski pol se pomjera među zvijezdama opisujući zatvorenu krivu liniju oko pola ekliptike. U naše doba nebeski pol se nalazi u blizini zvijezde Sjevernjače, alfe u sazviježđu Malog Medvjeda. Negdje oko 14 000-e godine sjeverni nebeski pol bit će udaljen oko 12 stepeni od zvijezde Vege, α u sazviježđu Lire.

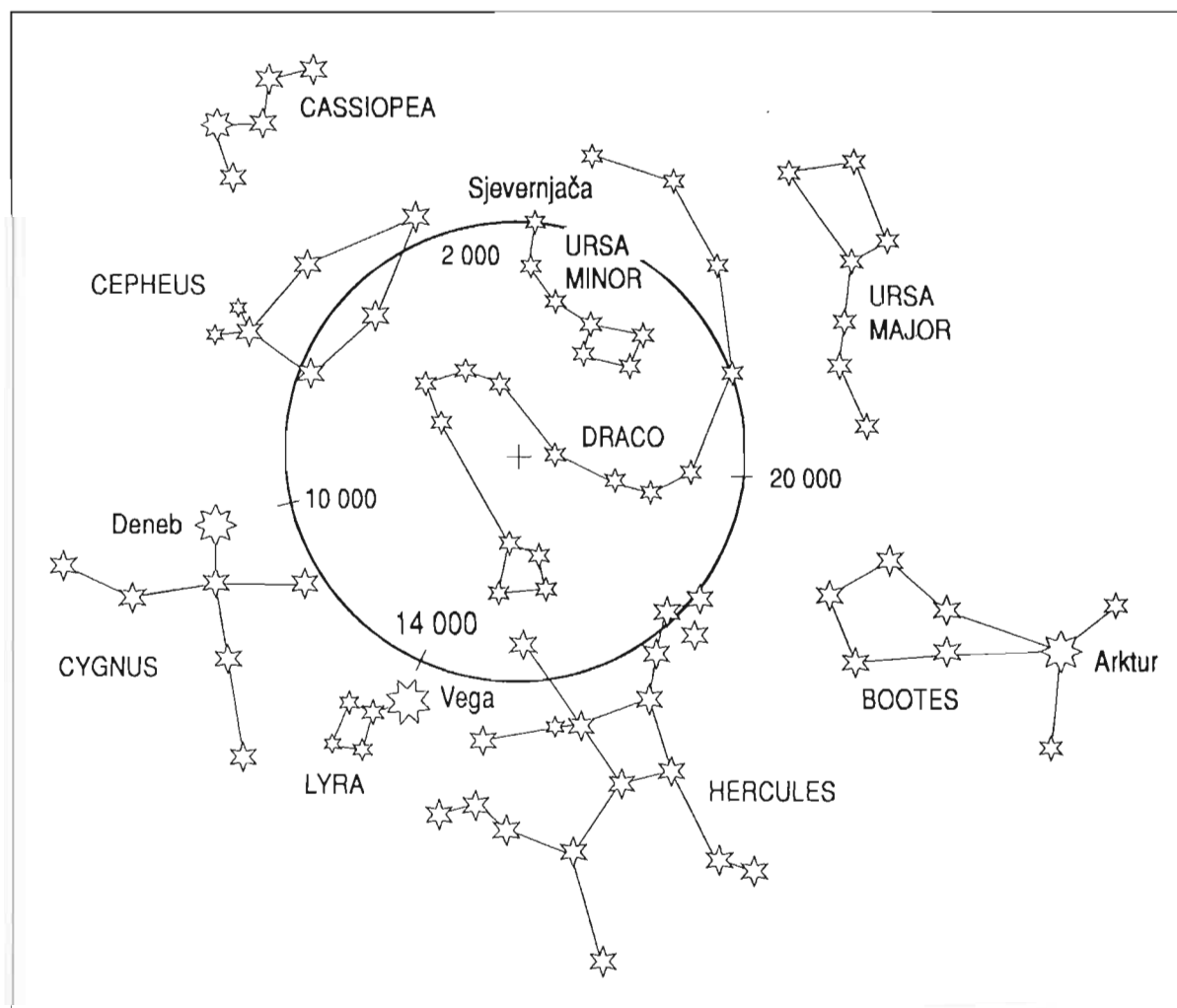
Zbog precesije, nebeski ekvator mijenja svoj nagib, pa se tako mijenjaju i ekvatorske koordinate. Zbog pomicanja Proljetne tačke, u ekliptičkom koordinatnom sistemu se mijenjaju longitude, dok latitude ostaju nepromijenjene.

Na crtežu 28. prikazano je nebo oko pola ekliptike, sa ucrtanim pomijeranjem nebeskog pola koje je nastalo zbog pojave precesije. Vidimo da se

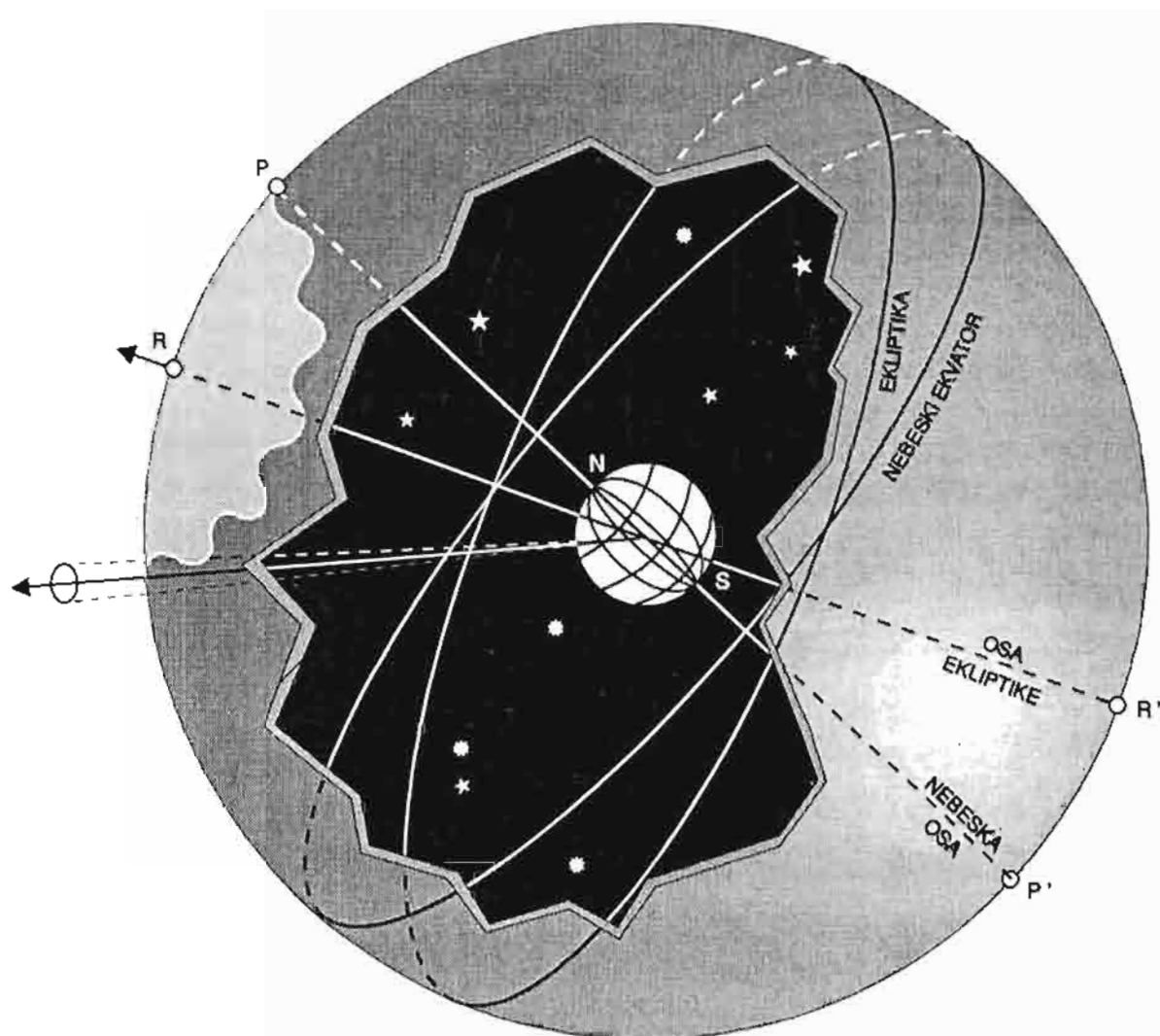
tokom jednog ciklusa različite zvijezde pojavljuju kao polarne.

Pored glavne luni-solarne precesije, postoje još dva precesiona kretanja. Prvo, nazvano **nutacija**, nastaje usljed periodičnog pojačavanja i slabljenja privlačnih sila Sunca i Mjeseca. Ovo pojačavanje, odnosno slabljenje ne dešava se zbog nekih fizičkih uzroka već je rezultat njihovih različitih međusobnih položaja u odnosu na Zemlju. Zato Zemljina osa, pored svog glavnog kretanja, opiše na nebu jednu malu elipsu. Ovo kretanje ima period od 18 godina i 8 mjeseci.

Jasno je, da zbog glavnog precesionog kretanja mi ne možemo vidjeti ovu elipsu. Zbog toga se nutacija manifestira tako što je kriva linija, koja predstavlja glavnu precesiju, valovitog oblika (sl.29). Na kraju treba reći da postoji i **planetska precesija**. Planetska precesija nastaje zbog gravitacijskog uticaja planeta Sunčevog sistema na Zemljino kretanje oko Sunca. Ma koliko da su te privlačne sile planeta, u odnosu na sile Sunca i Mjeseca slabe, one ipak postoje i dovoljno su uočljive prilikom preciznijih astronomskih posmatrana.



Sl.28. Pomjerenje nebeskog pola među zvijezdama, kao posljedica precesije.



Sl.29 Precesija i nutacija. Naš crtež prikazuje Zemljinu kuglu smještenu unutar nebeske sfere. Njena osa rotacije, zbog precesije i nutacije, ispisuje valovitu i zatvorenu krivu liniju tokom perioda koji iznosi nekih 26 000 godina. Uslijed toga različite sjajnije zvijezde postaju "polarne".

2. SUNČEV SISTEM

PLANETE I MALA TIJELA

Opće karakteristike

Iako je Sunce sasvim obična zvijezda kakvih u našoj galaksiji, Mliječnom Putu ima na desetine milijardi, ono je po nečemu izuzetno. Njega okružuje nebrojeno mnogo velikih i malih hladnih tijela koja sa njim tvore Sunčev sistem. Naime, mi još uvijek, osim nekih indicija, nemamo direktnih dokaza o postojanju drugih planetskih sistema kakav je ovaj naš.

Mjerenja pokazuju da je najveći dio mase našeg planetskog sistema koncentriran u Suncu (99,866%). Na planete otpada 0,134%, na komete 0,0003%, planetskim satelitima pripada 0,00004%, asteroidima 10^{-7} %, a meteoroidnoj i međuplanetarnoj materiji 10^{-12} %.

Planete predstavljaju najuočljivije članove Sunčeve familije. Svojim sjajem privukle su pažnju ljudi još u najstarijim vremenima. Tako su stari narodi poznavali Merkur, Veneru,

Mars, Jupiter i Saturn. Njihovo kretanje među zvijezdama vodilo je proširivanju ukupnih spoznaja o svemiru, rađanju tzv. Sistema svijeta, otkriću zakona kretanja planeta i sile koja time upravlja.

Mi danas poznajemo 9 planeta oko kojih kruži preko 60 do sada otkrivenih satelita. Po fizičkim karakteristikama, djelimo ih na **terestrijalne** (Zemlji slične) planete i **jovijanske** (Jupiteru slične planete) koje još zovemo i planete divovi. Terestrijalne planete sve odreda imaju čvrstu spoljašnju koru i većinom su okružene i atmosferama različite gustoće. Merkur i gotovo svi sateliti nemaju te zračne omotače. Planete divovi (jovijanske planete) su posve drugog sastava. Radi se o plinovitim tijelima bez neke čvrste kore.

Pored planeta i njihovih satelita, u Sunčevom sistemu srećemo asteroide, tijela malih masa i dimenzija. Ove nepravilne gromade stjenovitog materijala smještene su najvećim dijelom u prostoru između orbita Marsa i Jupitera. Komete predstavljaju veliku

familiju objekata čiji se pojedini članovi pri svom kretanju mogu udaljiti od Sunca na ogromne udaljenosti. Sunčev sistem sadrži i velike količine sitnih komadića materije koja se kreće u rojevima i koju nazivamo meteoroidi.

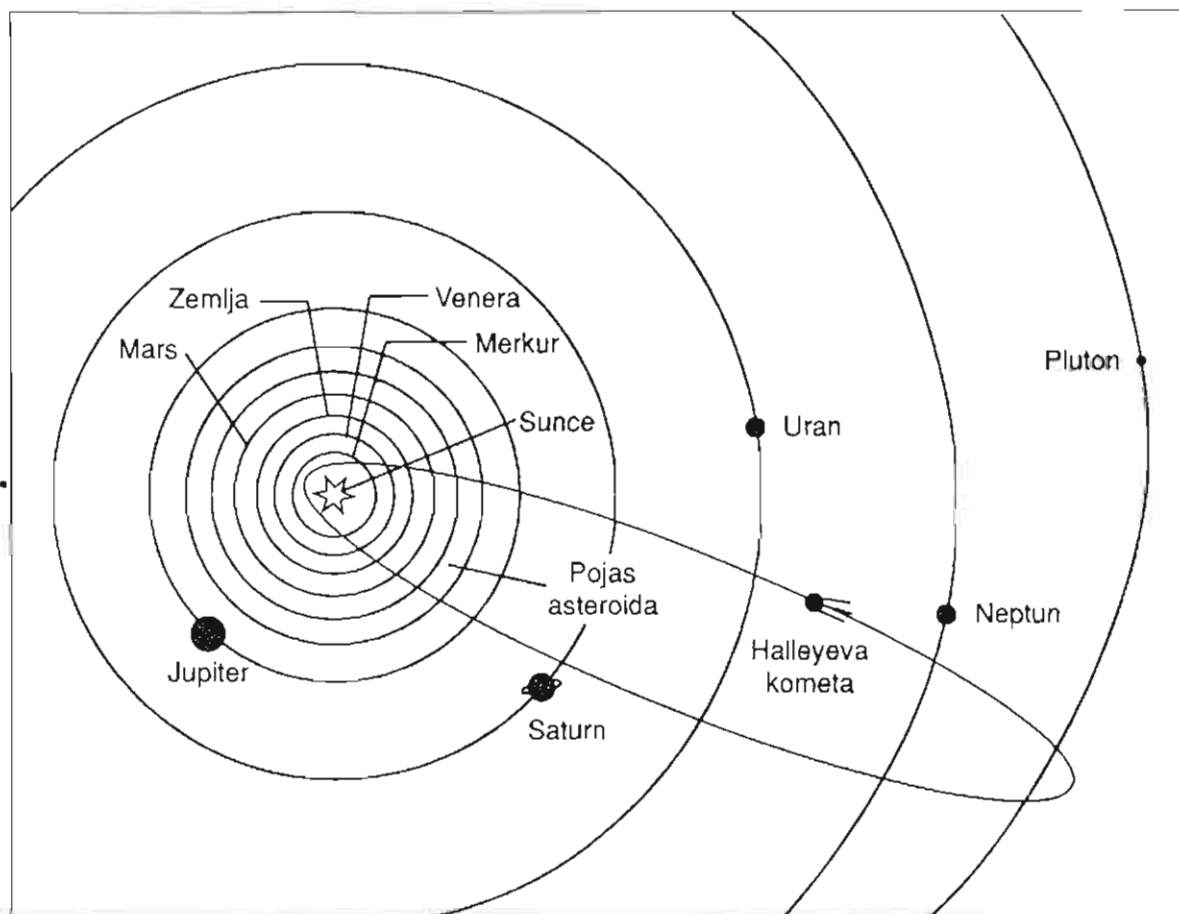
Kada oni prodru u Zemljinu atmosferu, sagorijevaju gotovo u potpunosti i tada ih na nebu opažamo kao meteore. U rijetkim slučajevima, pojedina krupnija tijela ne sagore u potpunosti. Tada mogu da dopiju na površinu Zemlje gdje ih nalazimo kao meteorite. Pomenimo na kraju i prašinate čestice koje sa plinovima tvore međuplanetarnu materiju.

Geocentrični i heliocentrični sistem svijeta

Posmatranja neba, ako je suditi po različitim arheološkim ostacima,

započela su još u osvit ljudske civilizacije. U tim dalekim trenucima, izgubljenim iza koprena vremena, bilo je mnogo očiju koje su svoje neispunjene želje i vječnu težnju za srećom i ljubavi, tražile među zvijezdama. Među tisućama tih dalekih treperavih tačkica, nije bilo teško zapaziti sjajne planete koje su se pomjerale među zvijezdama.

Već smo rekli da su ljudi prvih civilizacija poznavali 5 najsjajnijih planeta. U doba procvata ovih ljudskih zajednica, javila se potreba da se nekim sistemom objasni složeno kretanje planeta. Jedna od pojava koja je naročito zbunjivala, bilo je **retrogradno kretanje**. Posmatranja su pokazivala da se planete, u svom kretanju među zvijezdama, u jednom momentu zaustave i počnu kretati natrag (retrogradno). Kada se to



Sl.30. Isječak iz karte Sunčevog sistema gdje su u približnoj međusobnoj razmjeri prikazane orbite glavnih tijela našeg planetskog sistema.

kretanje ucrtta među zvijezdama, dobija se neka vrsta petlje. Nakon ovoga, planeta se ponovo nastavi kretati u normalnom, direktnom smjeru.

petlji, te objasni kretanja Sunca i Mjeseca.

Preciznija posmatranja u narednim stoljećima, ukazivala su na nepra-



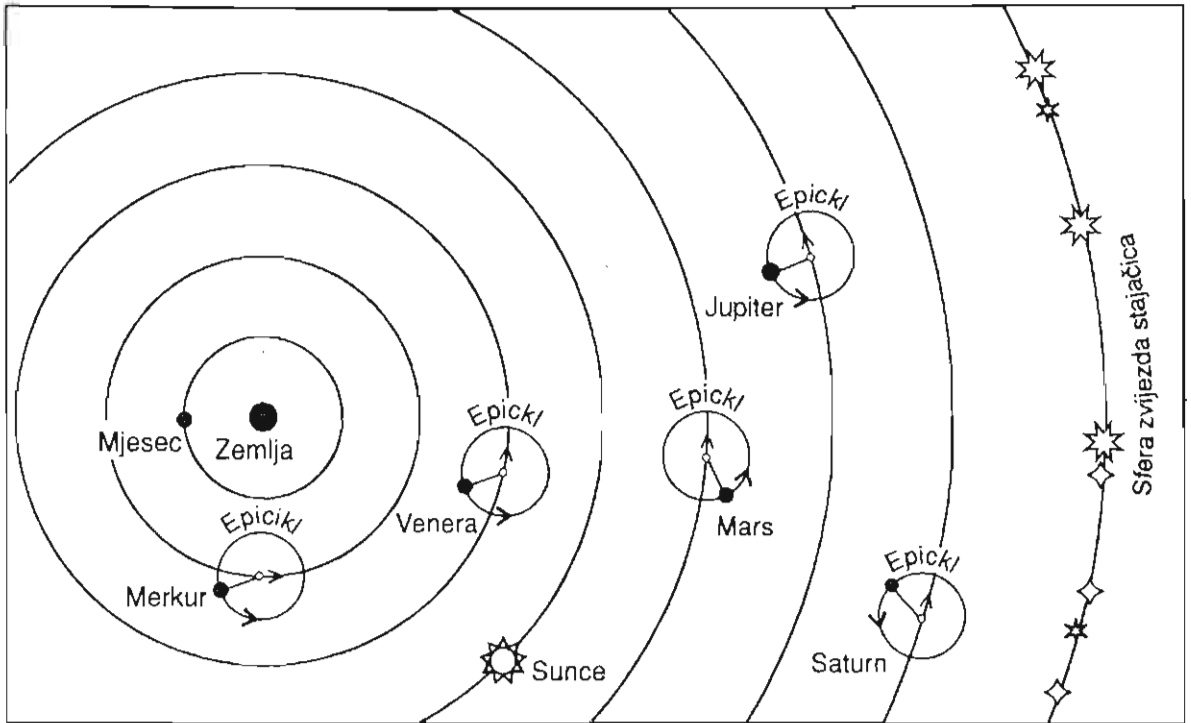
Sl. 31 Planetska petlja

Aleksandrijski astronom **Klaudios Ptolemaios** (Klaudije Ptolomej), iz drugog stoljeća prije nove ere, objavio je svoje objašnjenje planetskih kretanja. Ovo njegovo djelo poznajemo pod nazivom **Almagest**, što je arapski prijevod originala koji se zvao **Megale Syntaxis** ili Velika sinteza. **Ptolomejev sistem** ili **Geocentrični sistem svijeta** polazi od toga da se Zemlja nalazi u središtu svega postojećeg. Oko nje, po kristalnim sferama, kreću se Mjesec, Sunce i planete. Planete se kreću tako što, oko neke tačke na svojoj putanji, istovremeno prave kružno kretanje. Drugim riječima, oko Zemlje rotiraju centri tih malih kružnica koje je Ptolomej nazvao epiciklima. Cijeli ovaj sistem kristalnih kugli smješten je u jednoj najvećoj na kojoj su učvršćene zvijezde stajačice.

Ovo je bila jedna izvanredna geometrijska konstrukcija koja, kao što je već odavno poznato, ne odgovara realnoj slici. Za nedovoljno precizna posmatranja u tim dalekim vremenima, Ptolomejev sistem je bio dovoljno dobar da objasni nastanak planetskih

vilnosti u kretanjima planeta koje, jedna ovako jednostavna hipoteza nije mogla da objasni. Zato su sljedbenici Ptolomeja, čije je učenje u potpunosti prihvatila i kršćanska religija, uvodili sve nove i nove epicikle. Kretanje planeta je išlo po sve zamršenijim putanjama. Došlo je do opravdanih sumnji u ispravnost Ptolomejevog pristupa, a te sumnje su svoj vrhunac ostvarile pojavom Kopernika. **Nikola Kopernik** uvodi obrnutu pretpostavku. Po njemu, Zemlja i sve planete, kreću se oko Sunca po kružnim orbitama. Zemlja se pri tome okreće i oko svoje ose koja je nagnuta prema ravni njene putanje oko Sunca. Planetske petlje nastaju zbog toga što posmatramo planete sa Zemlje koja se i sama kreće oko Sunca.

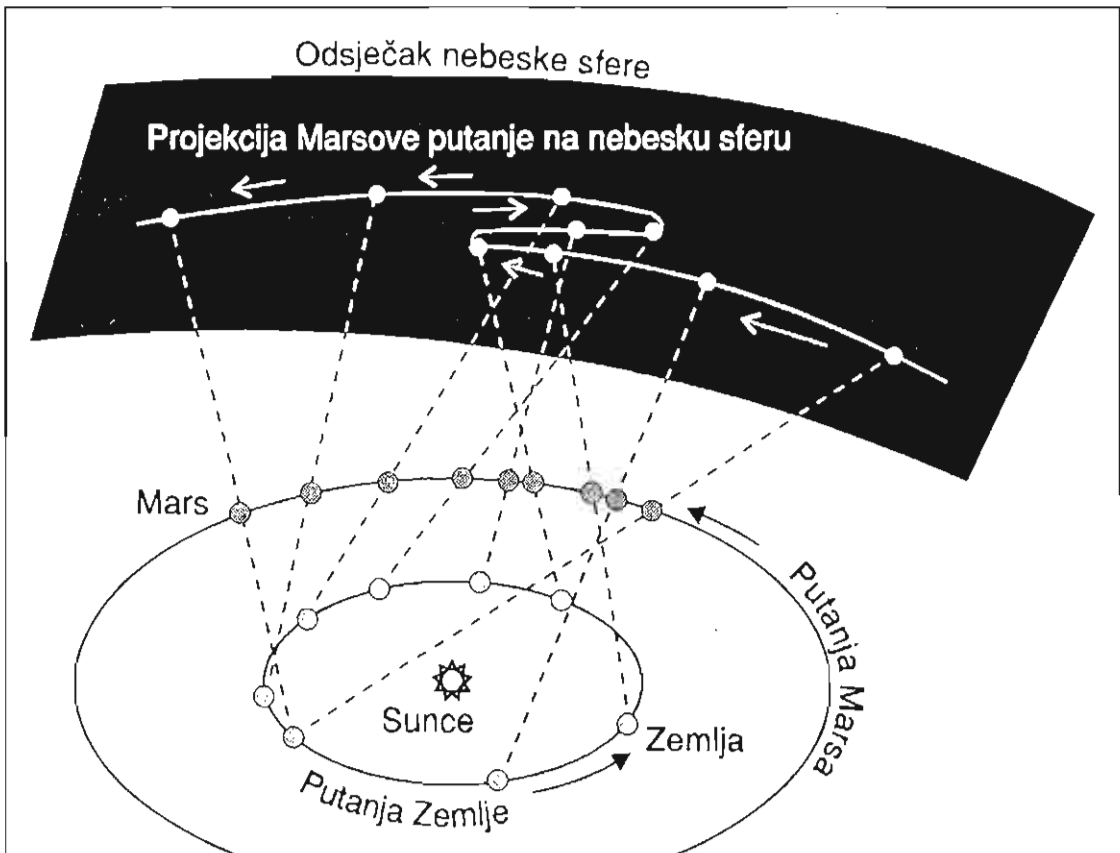
Kopernikov ili heliocentrični sistem svijeta, dugo je vodio bitku za svoje priznanje. Najveći problem je bio u tome što je bilo veoma teško razbiti uvriježenu sliku o Zemlji i čovjeku kao središtu svega postojećeg. Među onima koji su doprinijeli da se ovaj pogled na svijet probije i ozvaniči, bili



Sl. 32 *Ptolomejevo objašnjenje kretanja planeta*

su **Giordano Bruno i Galilo Galilei**. Zbog svojih, za to vrijeme previše revolucionarnih ideja, Bruno je bio spaljen kao heretik, a Galileo se javno

morao odreći svog naučnog djela. Ipak, sve to nije moglo da zaustavi hod nauke koja je dopunjena novim spoznajama rušila prevaziđene poglede.



Sl. 33 *Objašnjenje nastanka planetskih petlji po Koperniku*

Keplerovi zakoni

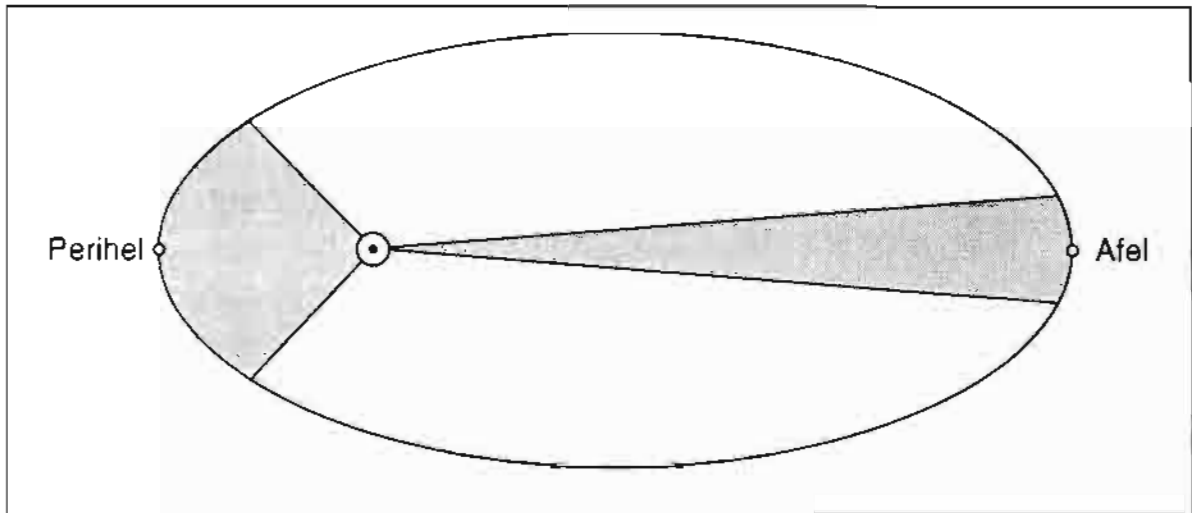
Veliki astronom predteleskopske ere, **Tiho de Brahe**, pored ostalog, ostavio je i tablice sa dovoljno tačnim mjerenjima položaja pojedinih planeta. Jedan od njegovih učenika, **Johannes Kepler**, iskoristio je posmatranja planete Mars čije je kretanje on pokušao dovesti u vezu sa njegovom kružnom putanjom oko Sunca. Takvu

se pojavljuje u knjizi "**Harmonices mundi**" koja izlazi 1619. godine.

Ovi Keplerovi zakoni se mogu formulirati na sljedeći način:

1. zakon:

Planete se oko Sunca kreću po eliptičnim orbitama. U zajedničkoj žiži tih elipsi nalzi se Sunce.



SI.34 Grafički prikaz 2. Keplerovog zakona

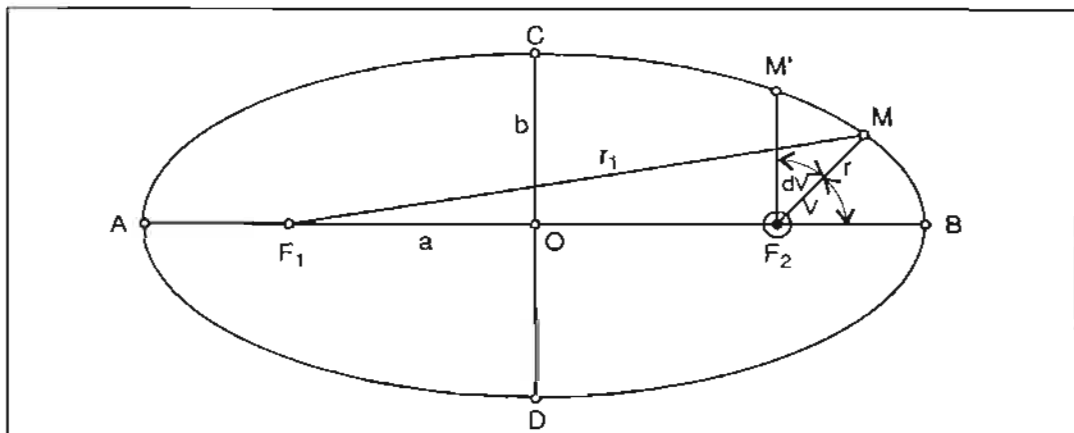
putanju previđala je kopernikanska teorija. Međutim, nije išlo. Posmatranja se nisu slagala sa proračunima. Onda je Kepler pretpostavio da se Mars, a i sve druge planete, oko Sunca ne kreću po kružnim, već eliptičnim putanjama. On 1609. godine u djelu "**Astronomia nova**" objavljuje svoja prva dva zakona o kretanju planeta. Treći zakon

2. zakon:

Radius vektor, povučen iz središta Sunca do neke planete, za isto vrijeme opisuje jednake površine.

3. zakon:

Kvadrati vremena obilaska pojedinih planeta oko Sunca, direktno su proporcionalni su trećim stepenima velikih poluosa njihovih orbita.



SI. 35 Elipsa za matematičku interpretaciju Keplerovih zakona.

Da bi smo ove zakone izrazili matematički, posmatrajmo elipsu na slici 35. Ona predstavlja putanju neke planete.

Oznake na slici imaju sljedeća značenja:

AB = velika poluosa elipse

CD = mala poluosa elipse

F_1 i F_2 = žiže elipse

Ako je F_2 u težištu Sunca, onda je A **afel**, a B **perihel** planetske putanje tj. najdalja i najbliža tačka. Sa a ćemo označiti veliku, a sa b malu poluosu elipse. Vrijedi:

$$OF_1 = OF_2 = \sqrt{a^2 + b^2}$$

Broj $e = \frac{\sqrt{a^2 + b^2}}{a}$ naziva se

numerički ekscentricitet elipse. iz prethodnog izraza se može odrediti b^2

$$b^2 = a^2(1 - e^2) \text{ ili } \frac{b^2}{a} = p = a(1 - e^2)$$

Ovdje je p **parametar elipse**. Ugao ν na slici 35. se naziva **prava anomalija planete** u tački M.

Iz trougla F_1F_2M slijedi, prema kosinusnoj teoremi:

$$r_1^2 = (2ea)^2 + r^2 - 4ear \cdot \cos \nu$$

Pošto je $r_1 = 2a - r$ onda je:

$$(1 + e \cos \nu) ar = a^2 - e^2 a^2 = b^2$$

ili

$$r = \frac{p}{1 + e \cos \nu}$$

Ovo je jednačina planetske putanje

i ujedno matematički prikaz 1. Keplerovog zakona. U oba slučaja, kada je ugao $\nu = 90^\circ$, tj. $\pi/2$ onda izraz glasi:

$$r = p$$

Drugim riječima, parametar p je, u stvari, dužina radius vektora normalnog na veliku poluosu elipse. Sada ćemo se pozabaviti matematičkim izrazom za drugi Keplerov zakon. Neka je $d\nu$ priraštaj ugla ν , tj. priraštaj prave anomalije koji odgovara beskonačno kratkom intervalu dt . Za vrijeme tog intervala, radius vektor r opiše

površinu $\frac{1}{2} r^2 d\nu$, trougla MF_2M' .

Količnik $\frac{dF}{dt} = \frac{1}{2} r^2 \frac{d\nu}{dt}$ zove se

sektorska brzina. dF je beskonačno mala površina koju opiše radius vektor. Prema Keplerovom zakonu, sektorska brzina je konstantna, pa se može pisati:

$$\frac{dF}{dt} = \frac{1}{2} C \text{ ili } r^2 \frac{d\nu}{dt} = C$$

a ovo predstavlja matematički oblik 2. Keplerovog zakona.

Ako sa T označimo vrijeme koje je potrebno planeti da obiđe oko Sunca, onda će ona za to vrijeme opisati površinu πab , ograničenu elipsom njene putanje. Sektorsku brzinu možemo onda izraziti u obliku:

$$\frac{dF}{dt} = \frac{\pi ab}{T}$$

$$C = \frac{2\pi ab}{T}$$

Treći Keplerov zakon se može napisati u sljedećem obliku:

$$\frac{a_1^3}{a_2^3} = \frac{T_1^2}{T_2^2}$$

gdje su a_1 i a_2 velike poluose planetskih putanja, a T_1 i T_2 su odgovarajući siderički (zvjezdani) periodi njihovih revolucija.

Newton-ov zakon gravitacije

Kako su Keplerovi zakoni sasvim dobro opisali kretanje planeta, oni nisu dali odgovor na pitanje zašto se one uopće kreću oko Sunca? Javilo se već tada više pretpostavki, ali su to bile hipoteze lišene matematičke i fizikalne podloge.

Isaak Newton, veliki engleski fizičar i astronom, jedan od najvećih umova svih vremena, kretanje planeta oko Sunca objasnio je postojanjem sile gravitacije. U svom djelu "**Philosophiae Naturalis Principia Mathematica**" ili "Matematski principi prirodne filozofije", koje je objavljeno 1687. godine, Newton tu svoju ideju obrazlaže na strogo matematički način. On je pretpostavio da ta ista sila gravitacije na Zemlji uzrokuje padanje predmeta prema tlu. Da bi dokazao identičnost sile zemljine teže i sile gravitacije koja zadržava planete na njihovim orbitama, Newton se poslužio kretanjem Mjeseca.

Naš prirodni satelit je, pri kretanju oko Zemlje, podvrgnut djejtvu njene privlačne sile. Centripetalno ubrzanje Mjeseca bi trebalo iznositi 60^2 , tj. ono je 3600 puta manje od ubrzanja sile teže jer se Mjesec nalazi na udaljenosti od 60 Zemljinih radiusa. Sa g ćemo označiti ubrzanje sile teže na površini Zemlje. Ono iznosi $9,81 \text{ ms}^{-2}$. Sa w označimo centripetalno ubrzanje

orbitalnog kretanja Mjeseca. Može se pisati:

$$\frac{w}{g} = \frac{1}{60^2} = \frac{9,81}{3600} = 0,0027 \text{ ms}^{-2}$$

Centripetalno ubrzanje se može odrediti i na drugi način i to pomoću formule koja povezuje centripetalno ubrzanje sa ugaonom brzinom Mjeseca i radiusom njegove putanje oko Zemlje. Ta formula glasi:

$$w = \omega^2 R$$

$$R \approx 60 \cdot 6370 \text{ km}$$

$$T \approx 27,3 \text{ dana}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

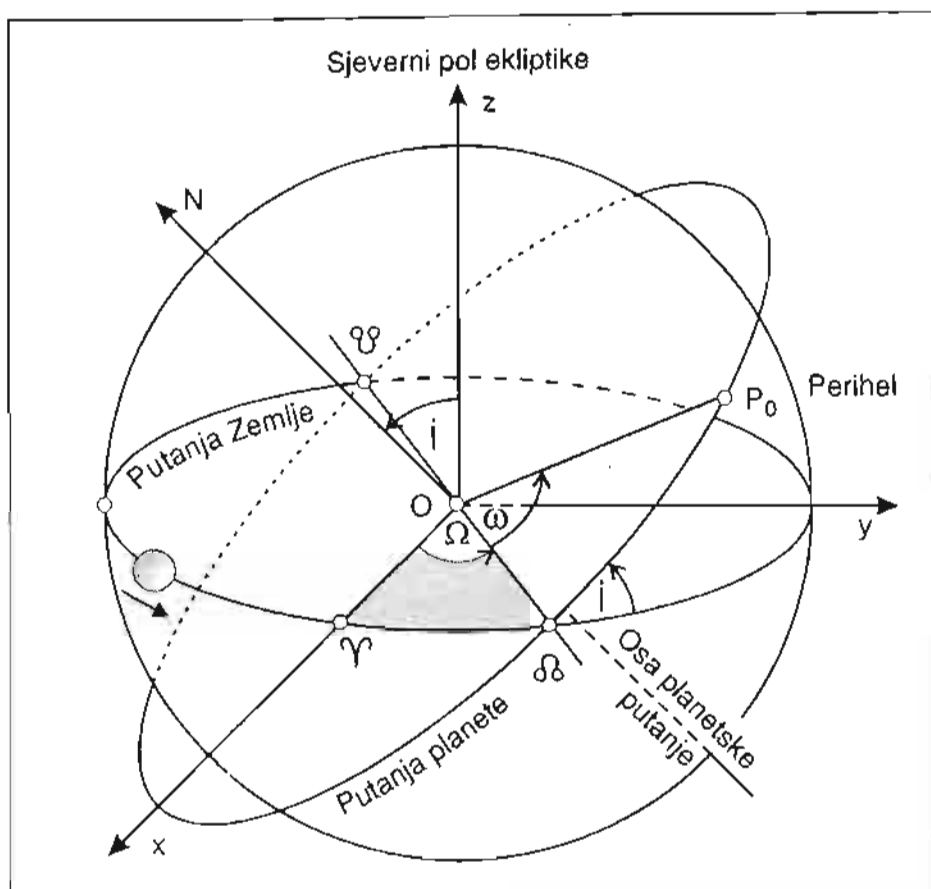
$$w = \omega^2 R = \frac{(2\pi)^2}{(27,3 \cdot 86400)^2} \cdot 60 \cdot 6370 \cdot 10^3 \text{ ms}^{-2}$$

$$w = 0,0027 \text{ ms}^{-2}$$

Vidimo iz oba razmatranja da se dobije ista vrijednost, što znači da su sila koja drži Mjesec na orbiti i sila teže jedna te ista sila. Odnosno, sila teže je identična sa privlačnom silom koja postoji između svih masa u svemiru.

Možemo zaključiti da je sila koja djeluje na bilo koju planetu direktno proporcionalna masi planete, a obrnuto proporcionalna kvadratu njenog rastojanja od Sunca.

Prema trećem zakonu mehanike (poznati Newton-ov zakon akcije i reakcije), sila kojom Sunce djeluje na planetu, jednaka je po intenzitetu sa silom suprotnog smjera kojom ta planeta djeluje na Sunce.

SI.36. *Elementi orbita planeta Sunčevog Sistema*

$$F = G \cdot \frac{M \cdot m}{r^2}$$

Konstanta G naziva se **konstanta gravitacije** i ima vrijednost:

$$G = 6,672 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2 \text{ kg}^{-2} = 6,672 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$$

Ovim smo došli do Newton-ovog zakona gravitacije koji kaže da se svake dvije materijalne čestice privlače silom koja je proporcionalna proizvodu njihovih masa, a obrnuto proporcionalna kvadratu rastojanja ove dvije čestice.

Elementi orbita planeta Sunčevog sistema

Vidjeli smo da su orbite planeta i njihovih satelita elipse. Zbog toga, kod određivanja pojedinih karakterističnih elemenata tih orbita, koristimo, pored

ostalog, i osnovne veličine koje definiraju elipsu. Da bi smo sve bolje razumjeli, posmatrajmo sliku 36.

U središtu Sunca (tačka O), postavljen je koordinatni sistem XYZ . Osa OX je u pravcu proljetne tačke, a osa OY je u pravcu tačke sa dužinom 90° . Osa OZ se nalazi u pravcu sjevernog pola ekliptike. Linija presjeka orbite planete sa ekliptikom, naziva se **linija čvorova**, a tačke presjeka ravni orbite sa ekliptikom su čvorovi. Ω je **uzlazni**, ω **silazni čvor**. Položaj ravni orbite određen je uglom i između te ravni i ravni ekliptike. Ugao i se naziva **naklon** ili **nagib orbite** i mjeri se od 0° do 180° .

Ugao Ω je **dužina** ili **longituda uzlaznog čvora** i računa se od 0° do 360° u pravcu povećanja dužine tj. suprotno kretanju kazaljke sata ako je posmatrač u sjevernom polu ekliptike, a sat u koordinatnom početku.

Linija OP_0 predstavlja **pravac ka perihelu orbite**. Ugao između OP_0 i linije čvorova, određuje položaj orbite. Označava se sa ω i zove se **rastojanje perihela od čvora**. Računamo ga od 0° do 360° u pravcu kretanja planete. Razmjeri i forma elipse su određeni **velikom poluosom a i ekscentricitetom e** . **Moment prolaza planete kroz perihel, T** , određuje položaj planete na orbiti u tom trenutku.

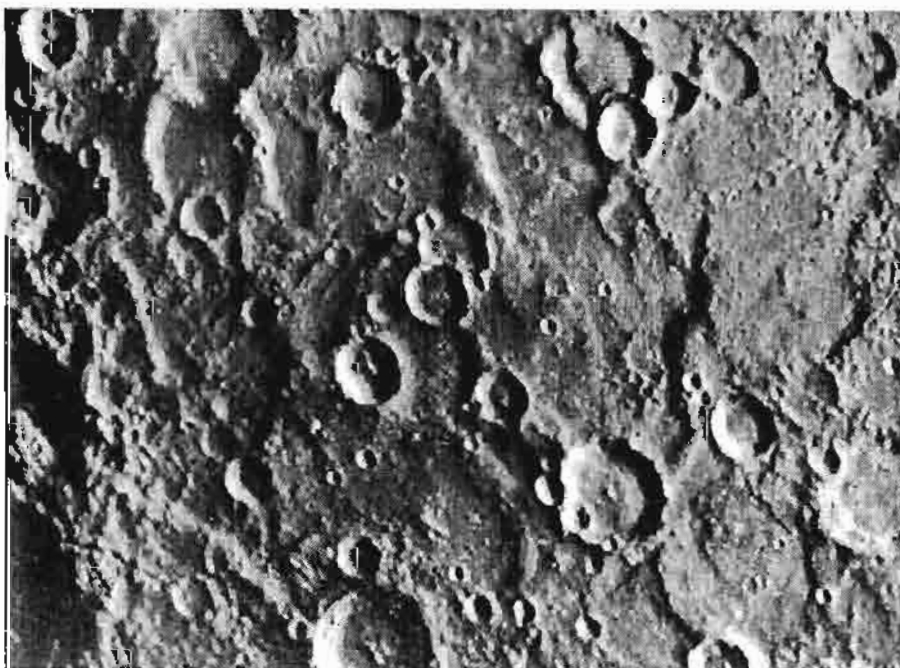
Merkur

Kao Suncu najbliža planeta, Merkur je golim okom vidljiv samo kratko nakon zalaska, ili neposredno prije izlaska Sunca. Historija kaže da je Kopernik, pred svoju smrt, izjavio da jedino žali što nikada nije vidio Merkur. U prostranim ravnicama srednje i sjeverne Evrope, horizont je uvijek maglovit i zbog toga je i otac heliocentričnog sistema svijeta bio uskraćen za pogled na ovu planetu.

Maksimalna ugaona udaljenost Merkura od Sunca, tj. njegova maksimalna elongacija, iznosi oko $27^\circ 5'$.

Debeli sloj atmosfere koji se proteže neposredno nad horizontom, upija svjetlosne zrake koje dolaze sa ove planete. Zato teleskopska posmatranja nisu mogla da daju nikakve veće rezultate. Merkur oko Sunca obilazi po eliptičnoj putanji, tako da mu je minimalno rastojanje 45,9 miliona kilometara, a maksimalno 69,7 miliona kilometara. Kretanje ove planete oko Sunca odigralo je važnu ulogu u historiji nauke. Naime, perihel njegove orbite se zakreće u prostoru. Klasična teorija gravitacije nije bila u stanju da u potpunosti objasni ovo pomijeranje. Nasuprot tome, kretanje Merkurovog perihela se može uklopiti u okviru relativističke teorije gravitacije. To je jedan od dokaza koji ukazuju da je Einsteinova opća teorija gravitacije veoma dobra u opisivanju slike svijeta koji nas okružuje.

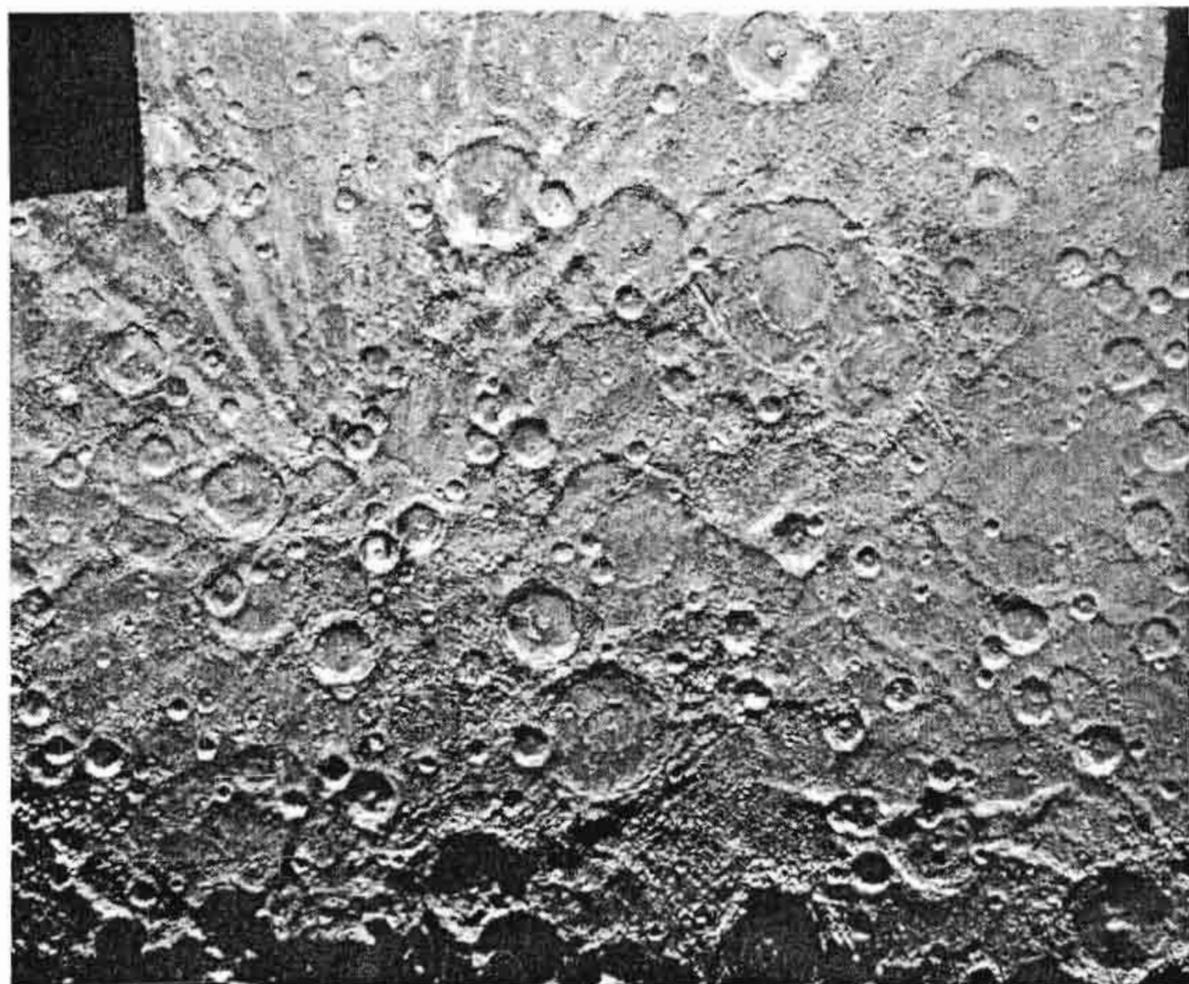
U dužim vremenskim razmacima dešavaju se prelazi Merkura ispred Sunca. Tada posmatrači mogu posmatrati crni Merkurov disk kako putuje više sati ispred diska Sunca.



Sl. 37. Različiti detalji površine Merkura koji su snimljeni pomoću američke međuplanetarne stanice "Mariner 10".

Period Merkurove rotacije oko vlastite ose bio je, za dugi niz godina, velika nepoznanica. Prvobitne pretpostavke, koje su se bazirale na posmatranju nekih detalja njegove površine, davale su podatke da taj pe-

noćna strana planete nije tako hladna. Ta zagrijanost neosvijetljene strane Merkura mogla bi se objasniti kada bi on imao atmosferu koja bi prenosila toplotu sa osvijetljene strane. Međutim, nikakvi tragovi plinovitog omotača oko



SI.38 Oblast na Merkurju oko kratera Bach i Wagner

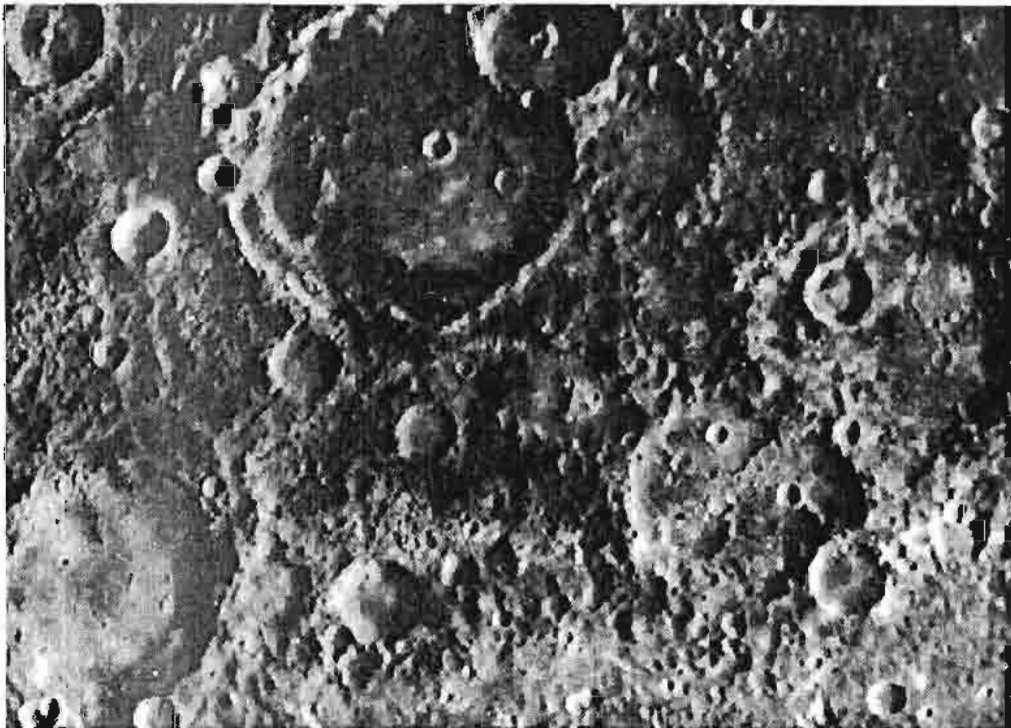
riod iznosi oko 24 sata. Čuveni istraživač planeta, italijan **Schiaparelli**, smatrao je da je to pogrešno i da je period rotacije Merkura jednak periodu njegovog obilaska oko Sunca. Prve indicije koje su ukazivale na greške ranijih razmatranja, javile su se sa korištenjem radio astronomskih metoda. Takvo posmatranje obavljeno je 1962. godine. Pokazalo se da je radio-zračenje Merkura, tačnije njegove tamne strane, mnogo jače nego što bi se moglo očekivati. Drugim riječima,

planete nisu opaženi. Zbog Merkurove male mase, brzina odvajanja je mala i, atmosfera, ukoliko je nekada i postojala, tokom vremena bi se neminovno postepeno rasula u okolni prostor.

O odsustvu iole primjetnih količina plinova, svjedoči i veoma nizak albedo planete Merkur. Albedo je, prema definiciji, onaj postotak reflektirane svjetlosti koji se odbija od nekog tijela. Albedo Merkura iznosi oko 6%, dok kod nekih planeta, okruženih atmosferama, albedo se kreće i do 75%.

1964. godine, uz pomoć divovskog radio teleskopa opservatorije Arecibo u Puerto Rico-u, vršena su radarska posmatranja ove planete. Signal sa Zemlje se odbijao od površine Merkura i ponovo vraćao natrag do radio teleskopa. Na ovaj način se moglo doći do podataka o dužini trajanja rotacije. Pokazalo se, prema tim mjerenjima, da se Merkur oko svoje ose okrene

su, kako smo već rekli, veoma otežana. Kada je nisko nad horizontom, turbulencije u atmosferi kvare definiciju slike. Druga mogućnost je dnevno posmatranje, ali, je tada kontrast slike bitno smanjen. Prije svemirske ere, u doba klasične astronomije, posebno su bila zapažena strpljiva posmatranja **Antoniadija** i **Dolfusa** sa opservatorije Pic de Midi u Francuskoj.



Sl. 39 Predio na južnoj polukugli Merkura. Vidljiv je veliki broj krupnijih kratera starijeg porijekla. Manji krateri su većinom mlađi po porijeklu jer ih zapažamo i u zidovima starijih kratera

jedanput za 59 dana. Pri tome, postoji rezonancija između perioda rotacije i revolucije Merkura tako da planeta napravi tri rotacije tokom svaka dva obilaska oko Sunca. Za hipotetskog posmatrača koji se nalazi na Merkur, Sunce na njegovom nebu opisuje kompleksnu putanju.

Zbog ove rezonancije u odnosu 3:2, period između dva izlaska Sunca na Merkur traje dvije njegove godine, odnosno oko 176 zemaljskih dana.

Teleskopska posmatranja Merkura

Ono što se nije moglo klasičnim astronomskim metodima, ostvareno je pomoću međuplanetarne stanice "**Mariner 10**". Ona je u periodu od 1974-1975. godine, tri puta prošla pored ove planete. Pri tome je uspjela da snimi oko 45% njegove površine. Rezolucija fotografija koje su televizijski poslana na Zemlju, iznosila je oko 1 km. U manjem broju slučajeva postignuta je i rezolucija od 100 do 500 metara.

Snimci su pokazali da Merkur, po



Sl. 40 Oblast Victoria Quadrangle na Merkur u sa većim brojem kratera

mного čemu, spolja liči na Mjesec i da je prekriven ogromnim brojem kratera. Gustina materijala od kojeg je građen je veća od gustine bilo koje planete ili satelita (izuzetak je samo Zemlja). Smatra se da on ima veliko jezgro koje zaprema 75% prečnika planete i sadrži visok procenat željeza. Oko jezgra je stjenoviti omotač debljine oko 600 km i tanka vanjska kora.

"Mariner 10" je utvrdio da Merkur posjeduje slabo magnetsko polje. Ono ukazuje da planeta mora da ima središnje zone u tečnom stanju, odnosno da je unutrašnjost vruća.

Letjelica je takođe registrirala prisustvo atoma vodika, helija i kisika oko planete. Pritisak ove "atmosfera" je trilion puta manji od pritiska Zemljine atmosfere. Ovi atomi potiču od sunčevog vjetra u kome se planeta Merkur neprekidno kupuje.

Najveća struktura koja se zapaža na snimcima "Marinera 10" je tzv. bazen Caloris. Radi se o ogromnom krateru nastalom udarom divovskog tijela. Prečnik Calorisa je oko 1300 km. Nakon udara, lava je ispunila bazen i poravnala ga. Kasnijim dizanjima i spuštanjima terena, pojavile su se

pukotine i grebeni koji su raspoređeni i koncentrično i radijalno.

Pored velikog broja kratera koji su očigledno nastali u raznim epohama historije Merkura, na ovoj planeti se zapažaju pukotine, klisure i druge tektonske strukture. Nema sumnje da je Merkur, nakon svog formiranja, veoma brzo prešao u usijano tečno

Gusta i neprozračna atmosfera skriva njenu površinu. Taj njen zračni omotač, koji intenzivno reflektira Sunčevu svjetlost, opazio je još 1761. godine **Lomonosov**. To je bilo prilikom jednog prelaza Venere ispred Sunca. Ovakvi prelazi se dešavaju rjeđe od prelaza Merkura. U našem stoljeću nije se desio ni jedan prelaz, a prvi slijedeći



SI.41 Površina Venere fotografirana pomoću Sovjetske automatske stanice "Venera 9".

stanje. Uzrok tome bili su radioaktivni procesi. Tada su se željezo i teži elementi koncentrirali u unutrašnjosti. Poslije formiranja vanjske kore, došlo je do pojave vulkanizma. Ova rana tektonska aktivnost bila je uzrok pojave prve generacije kratera i većih bazena. U ta pradavna vremena, kao i sva druga tijela Sunčevog sistema, Merkur je bio izložen žestokim udarima meteoroidske materije. Na taj način su nastajali udarni krateri kojih je danas najviše na njegovoj površini.

Venera

Venera je dugo nazivana zagonetnom planetom i to ne bez razloga.

će biti 8.6.2004. i 6.6.2012. godine. Albedo Venere iznosi 75%. Zbog toga je ova planeta, poslije Sunca i Mjeseca, prividno najsjajiji objekat na nebu. Njen maksimalni sjaj doseže vrijednost od -4,3 prividnih veličina. Zato ju je moguće vidjeti i danju.

Kao i Merkur, Venera je vidljiva prije izlaska ili poslije zalaska Sunca. Najveća ugaona udaljenost od Sunca (**elongacija**) kod Venere se kreće oko 47°. Još davno je ustanovljeno da ona pokazuje faze slično kao Merkur i Mjesec. Kada se nađe između Zemlje i Sunca, njena udaljenost od nas može da bude svega 40 miliona kilometara.

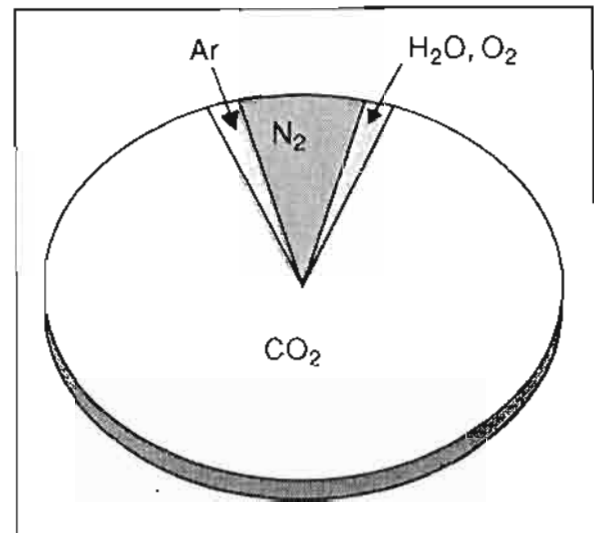
U teleskopu se Venera pokazuje kao blještavi, blijedo-žučkasti disk. Na tom disku nije moguće opaziti nikakve karakteristične detalje. Dugogodišnja ispitivanja su pokazala da se pojavljuju svijetle i tamne mrlje koje su nepostojane. Iz vizuelnih posmatranja nije se zato mogao odrediti period rotacije ove planete.

Radarskim mjerenjima utvrđeno je da period rotacije Venere iznosi 243,1 zemaljska dana. Smjer njene rotacije je suprotan smjeru u kome rotira većina planeta Sunčevog sistema. Prva ispitivanja atmosfere Venere vršena su pomoću spektralne analize. Tako je najprije otkriveno da u blizini infracrvenog dijela spektra postoje linije ugljičnog dioksida. Kasnije su otkriveni ugljični monoksid, hlorovodik i fluorovodik. Ova ispitivanja su mogla da daju podatke samo o vanjskim slojevima atmosfere. Mjerenja temperature pomoću termoelemenata govorila su da se ona u tim oblastima kreće oko -23°C .

Američka međuplanetarna stanica "**Mariner 2**" prva je letjelica koja se približila Veneri. Ona je 14.12.1962. godine prošla na rastojanju od oko 35 000 km. Tada je utvrđeno da planeta ima magnetsko polje koje je desetak puta slabije od onoga oko Zemlje.

Oblačni sloj oko Venere, u vidljivoj svjetlosti ne pokazuje nikakve posebne detalje. Kada se snimanje obavi u ultraljubičastoj svjetlosti, kako je to uradila američka stanica "**Pioneer Venus Orbiter**", tada se mogu zapažiti tamne i svijetle oblasti. Svjetlije su one sa kojih se ultraljubičasto zračenje odbija natrag u svemirski prostor. Na tamnijim mjestima, zračenje se dijelom upija i prodire dublje u unutraš-

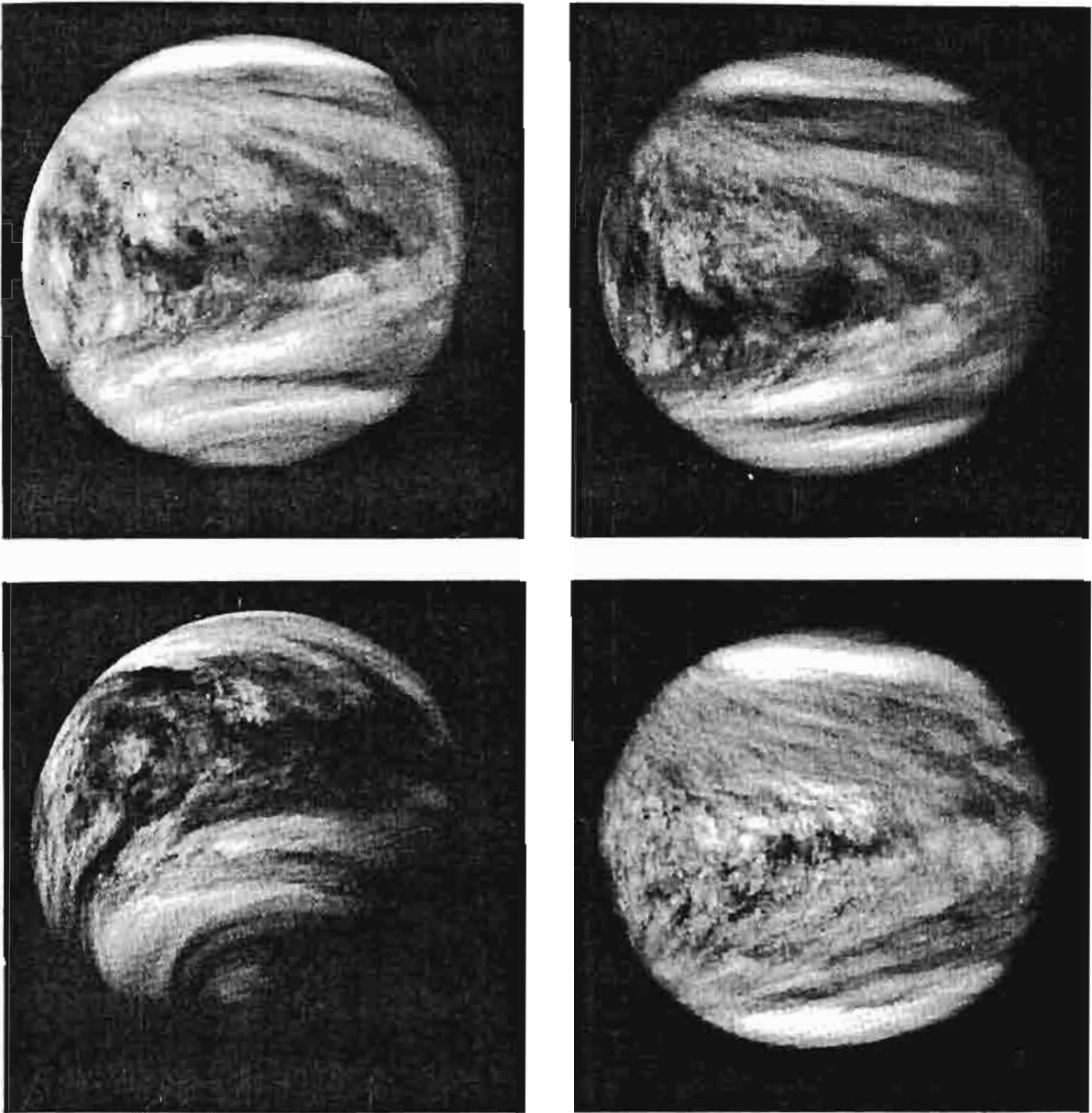
njost. Oblaci se sastoje najvećim dijelom od sumporne kiseline i prostiru se na visini od oko 60 km iznad površine. Utvrđeno je da se oblaci kreću od istoka ka zapadu i da im brzine u ekvatorskim regionima iznose i do 350 kmh^{-1} .



Sl. 42 Sastav atmosfere planete Venere

Sovjetska međuplanetarna stanica "**Venera 4**" je prva letjelica koja se spustila direktno na površinu zagnjetne planete. Pri tome je, tokom spuštanja, slala podatke na Zemlju. Temperatura se za to vrijeme mijenjala od 25° do 270°C , a pritisak je bio od jedne do 18 atmosfera. Pokazalo se da je atmosfera građena najvećim dijelom od ugljičnog dioksida na koga otpada 90%, zatim je tu dušik koga ima 7%, a kisik i vodena para su prisutni u količini od 1,5%.

Nakon ove letjelice, ka Veneri su upućene stanice "**Venera 5**" i "**Venera 6**" od kojih su stigli novi, precizniji podaci. Na osnovu njih dalo se zaključiti da je temperatura na površini Venere oko 770°C , a pritisak oko 97 puta veći od normalnog pritiska na površini Zemlje.



Sl. 43 Oblačni sloj oko Venere snimljen u ultraljubičastoj svjetlosti. Set od četiri snimka načinjen je u toku 36 sati i moguće je uočiti promjene u oblačnom sloju koje su izazvane visinskim strujanjima u gusnoj atmosferi ove planete.

U cijeloj jednoj seriji letjelica poslanih ka Veneri, vrlo su važne bile stanice **"Venera 9"** i **"Venera 10"** koje su se meko spustile na površinu i poslale prve snimke. 22.10.1975. godine, "Venera 9", a tri dana kasnije i "Venera 10", uspješno su se spustile u dvije različite oblasti tajanstvene planete. Snimci površine Venere bili su istovremeno i prvi povijesni snimci sa tla neke druge planete. Zbog visokih temperatura koje tu vladaju, stanice su

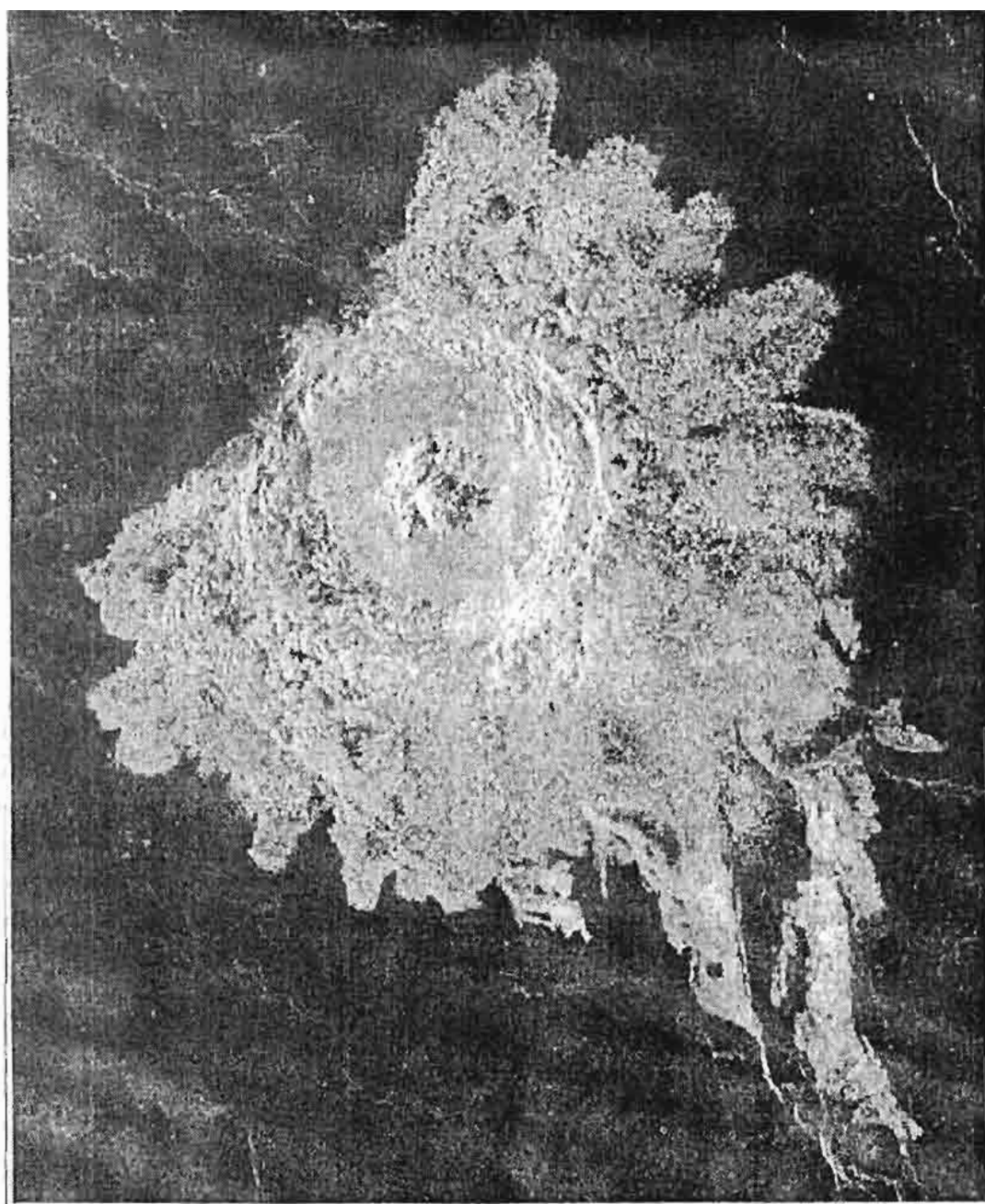
radile samo kraće vrijeme, dok se nisu pregrijale i prestale sa radom.

Ranije postavljene pretpostavke su polazile od toga da zbog guste atmosfere ne bi bilo moguće dobiti jasne snimke Venerine površine. Svjetlost bi bila toliko difuzna da sjenke ne bi mogle postojati. Također, očekivalo se da je tlo pustinjskog tipa zbog uticaja erozije, posebno eolske, (erozije izazvane vjetrovima). No, snimci su donijeli iznenađenje. Osvjetljenost tla je tako

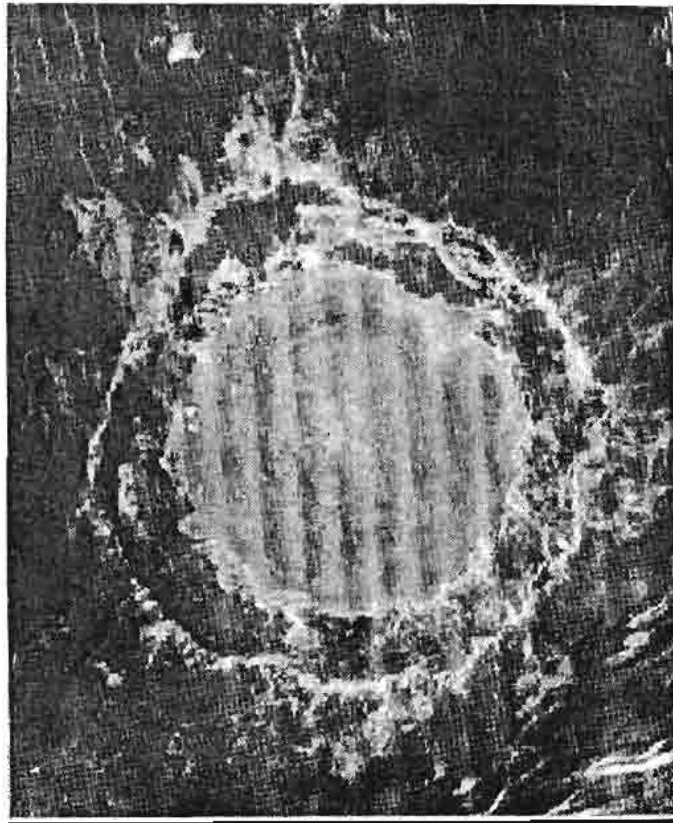
dobra da se sjenke savršeno opažaju. Stanice su se spustile na dva geološki gledano, različita dijela planete. U oba slučaja primjećuju se stijene različitih dimenzija. Tlo oko "Venere 9" bilo je prekriveno stijenama prečnika 30 do 40 cm. Ova stjenovitost ukazuje na to da na Veneri, gotovo sigurno, još uvijek postoje vulkanski i drugi geološki procesi ili su isti postojali još donedavno. U suprotnom, sve stijene i kamenje bi prije ili kasnije bili ustinjeni

u pijesak i prašinu pod djelovanjem erozije.

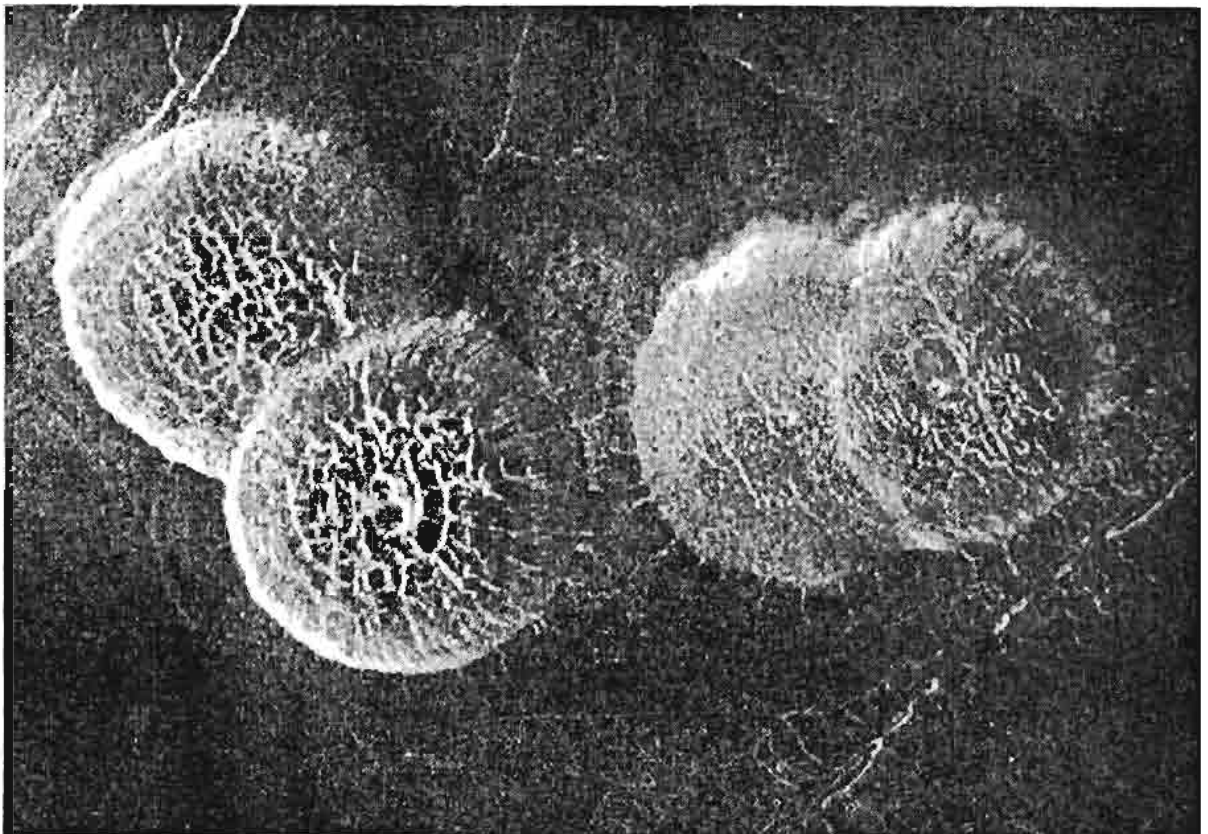
U istraživanju Venere, još više uspjeha imale su letjelice "Venera 13" i "Venera 14" koje su se 1982. godine spustile na dva različita mjesta i nekoliko sati slale podatke. Prva stanica spustila se u niziju jugoistočno od Beta Regio. Tu prevladavaju ravne, pljosnate stijene i opaža se obilje pješčanog materijala. Boja i grupa hemijska analiza, ukazuju na



Sl. 44 Udarni krater Aurelia na Veneri prečnika 32 km. "Snimak" letjelice "Magellan".



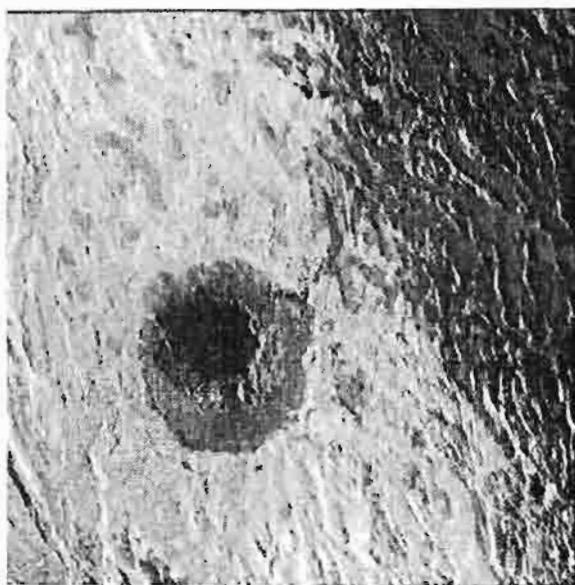
Sl.45 Krater Mead na Veneri koji ima prečnik 275 km. Kompjuterska obrada "snimka" pomoću radara letjelice "Magellan".



Sl.46 Niz kupolastih vulkana na Veneri sa prečnicima oko 25 km i visinama između 400 metara i 1300 metara. ("Snimak" načinjen radarom letjelice "Magellan").

sličnost ovih stijena sa vulkanskim kamenjem na Zemlji. Ukupna osvjetljenost terena je slična osvjetljenosti na Zemlji za veoma oblačnog dana.

Američka stanica "**Pioneer Venus Orbiter**" bila je snabdjevena radarskim sistemom koji je omogućio da se dobiju grube mape oko 95% površine u



Sl.47 Krater Cleopatra na Veneri je dubok oko 2,5 km (letjelica "Magellan")

toku višegodišnjih posmatranja. Na Veneri nema vodenih površina, te se za pojmove visoko i nisko, koristi srednji radius planete. Oko 20% površine su nizije ispod nivoa srednjeg radiusa, 70% terena leži manje ili više u okviru tog prosječnog poluprečnika, a 10% tla zapremaju visoravni.

Dvije najuočljivije visoravni su Aphrodite Terra ili Afroditina zemlja koja je smještena blizu ekvatora i, Ishtar Terra ili Zemlja Ištar koja je na sjeveru. Po dimenzijama, Aphrodite je manja od Afrike, a Ishtar je velika poput Australije. Afroditina zemlja se sastoji od dva glavna masiva sa vrhovima visokim oko 9 km. Zapadno od nje, nalazi se sistem pukotina dubokih po 2 km i dugih na stotine kilometara.

Ishtar Terra sadrži planinski masiv nazvan Maxwell Montes ili Maksvelove planine. Najviši vrh je visok oko 10,8 km. On se na vrhu prikazuje kao kružna struktura nazvana Cleopatra Patera za koju se pretpostavlja da je ugašeni vulkanski krater.

Postoje i druga, manja planinska područja kao što su Beta Regio i Alfa Regio. Radarski snimci oblasti Beta Regio koje su načinile sovjetske "Venere" doveli su do otkrića dva velika kratera nazvana Theia Mons i Rhea Mons. Oni su visoki oko 4 km.

U jesen 1990. godine, u orbitu oko Venere stigla je letjelica "**Magellan**" koju su Amerikanci lansirali u svrhu detaljne radarske kartografije ove planete. U ovu međuplanetarnu stanicu ugrađen je izuzetno kvalitetan radar koji omogućuje rezoluciju od samo 75 metara. On šalje radarski snop valne dužine od 12,5 cm koji se odbija od površine i vraća natrag na letjelicu. Kompjuter kasnije "sklapa" sliku. Ovo kartografiranje Venere trajalo je dvije godine. Prvi "snimci" pokazuju svu kompleksnost reljefa ove planete. Pored planinskih lanaca, otkriven je veliki broj vulkanskih i udarnih kratera. Također se opažaju okamenjeni potoci lave, pukotine, kanjoni, kupolasti krateri i druge strukture.

Mars

Svojom karakterističnom crvenom bojom, ova planeta je veoma davno skrenula pažnju na sebe. Zbog tog zlokobnog sjaja koji je podsjećao na krv, stari narodi su joj dali ime boga rata. Mars je, bez sumnje, jedan od najbolje ispitanih planeta Sunčevog sistema. Tome doprinosi niz povoljnih okolnosti. Prije svega, on ima veoma rijetku atmosferu. Zato je lako posmatrati detalje njegove površine. Kada se

nalazi u opoziciji prema Zemlji, Mars je vidljiv cijele noći. Zbog ekscentričnosti orbite, ova planeta, u određenim vremenskim periodima, može da se približi Zemlji na rastojanje od samo 56 miliona kilometara. To su velike opozicije Marsa koje se naizmjenično ponavljaju svakih 15 i 17 godina.

Prividni prečnik Marsa, u vrijeme velike opozicije, kreće se oko 25 uglovnih sekundi. Jedan obrt oko svoje ose Mars obavi za $24^h 37^m$ i $22,56^s$. Nagib njegove ose prema ekliptici je oko 25° . Jedna Marsova godina ima 687 zemaljskih dana.

Dugogodišnja teleskopska posmatranja Marsa pokazala su postojanje tamnih i svijetlih oblasti. Svijetle zauzimaju 75% njegove površine i imaju boju hrđe. Pretpostavilo se da su to pustinje čiji bi pijesak trebao da sadrži dosta limonita ($Fe_2O_3 \cdot x H_2O$). Ovaj željezni oksid daje Marsu onu karakterističnu crvenkastu boju. U prilog tvrdnji da je tlo Marsa pustinjskog karaktera idu povremene pojave velikih zamućenja, globalnih razmjera. Tu zamućenost uzrokuju žućkasti oblaci koji bi se sastojali od prašine podignute velikim pustinjskim olujama. U atmosferi Marsa su pored žutih, opaženi bijeli i plavi oblaci.

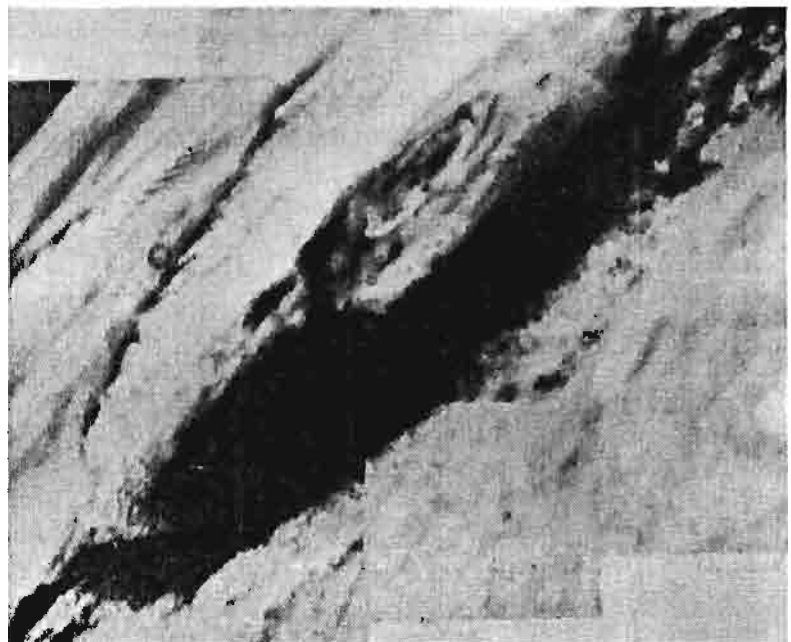
Na Marsu, kao i na Zemlji, postoji smjena godišnjih doba. Sezone na njemu traju dvostruko duže nego na Zemlji. U vezi sa smjenom godišnjih doba, javlja se i problem Marsovih polarnih kapa. Kada nastupi ljeto, ove bijele kalote počinju da se

upadljivo smanjuju. Sa približavanjem Marsove zime, one počinju da rastu. Infracrvena posmatranja sa letjelice "Viking 2" pokazala su da se sjeverna polarna kapa sastoji od mješavine vodenog leda i prašine.

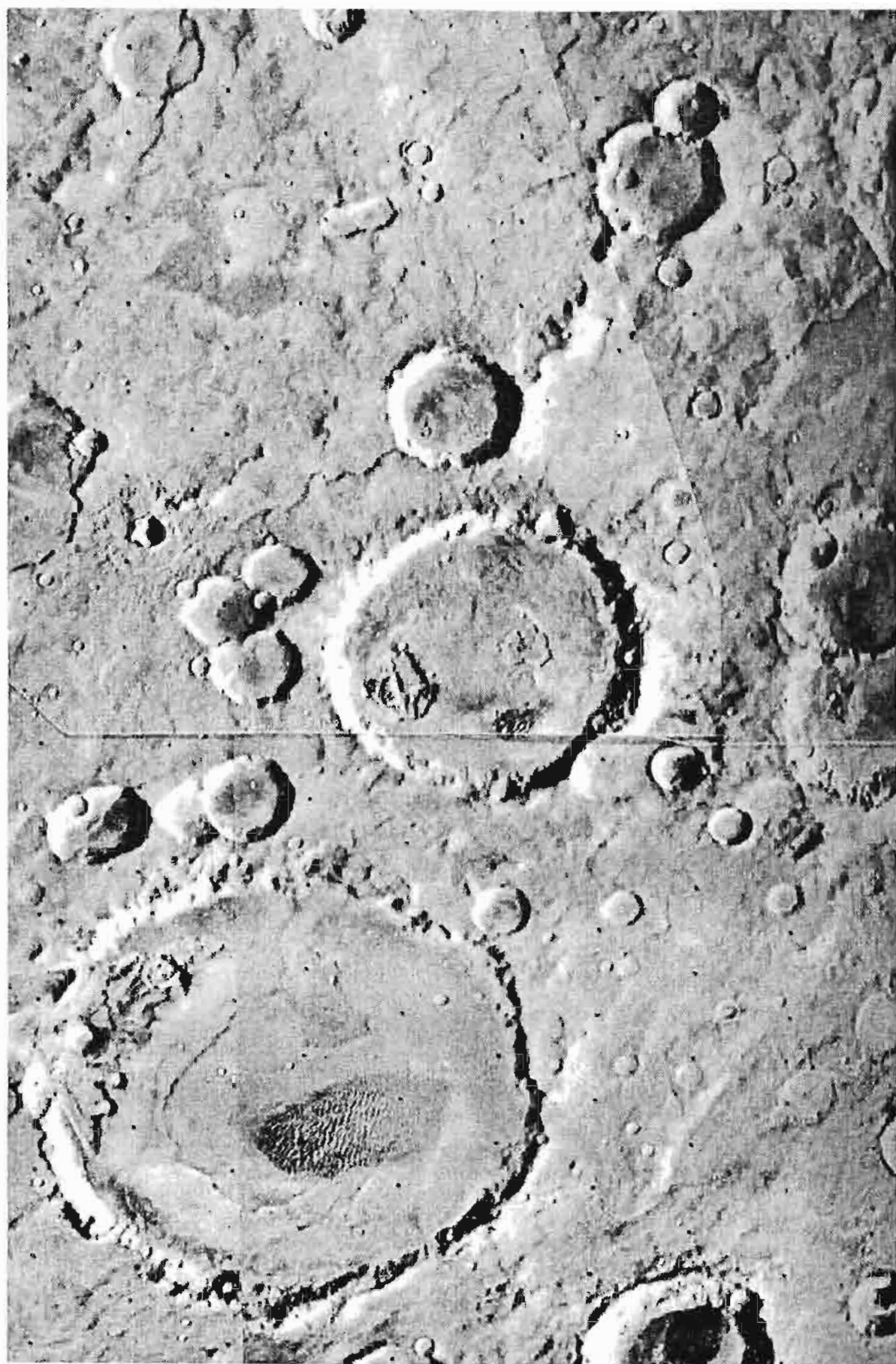
Tamne oblasti zauzimaju manji dio površine ove planete. Neki posmatrači su uočili da te zone, sa promjenom godišnjih doba, mijenjaju svoju boju. Jedno vrijeme se čak mislilo da se radi o vegetaciji što je kasnije odbačeno.

Jedan od prvih istraživača Marsa, Italijan **Schiaparelli**, objavio je kako postoji niz "kanala" koji povezuju pojedine tamne oblasti. Tako je nastala čuvena teorija o postojanju kanala na Marsu kao artefakta neke visokorazvijene marsijanske civilizacije. Letovi međuplanetarnih stanica u potpunosti su opovrgli postojanje ovih tvorevina.

Raznim mjerenjima ustanovljeno je da se temperatura, u ekvatorskim oblastima, penje do $20^\circ C$. Na zalazu Sunca ona pada i do $-7^\circ C$. Prema polovima, ove temperature su još niže.



Sl.48 "Marinerov" snimak Marsovog kratera Olympus Mons, najvećeg poznatog uzvišenja u Sunčevom sistemu.



SI.49 Oblast oko Marsovog kratera Proctor prečnika 160 km. U njegovoj unutrašnjosti mogu se zapaziti mnogobrojne pješčane dune.

Nakon 1965. godine, veći broj američkih i sovjetskih stanica bio je upućen prema Marsu. To su bile američke letjelice serije "Mariner" i "Viking" i sovjetske tipa "Mars". Stanice "Viking 1" i "Viking 2" spustile su male sonde - lendere direktno na površinu planete.

Od bitnih geoloških oblika na Marsu uočavamo prastare kratere nastale uglavnom udarima meteoroidne materije u rano doba Sunčevog sistema. Tu su zatim veliki vulkani, sistemi ogromnih kanjona i strukture koje liče na sasušena riječna korita. Velike

površine, posebno na južnoj hemisferi, sadrže ogroman broj kratera nastalih udarima prije nekih 4 milijarde godina. Neki od ovih kratera su izuzetno veliki. Tako struktura nazvana "Hellas" ima prečnik 1500 km i dubinu od 6 km. Mnogi krateri su, djelstvom erozije, srušeni ili imaju jako razrušene zidove.

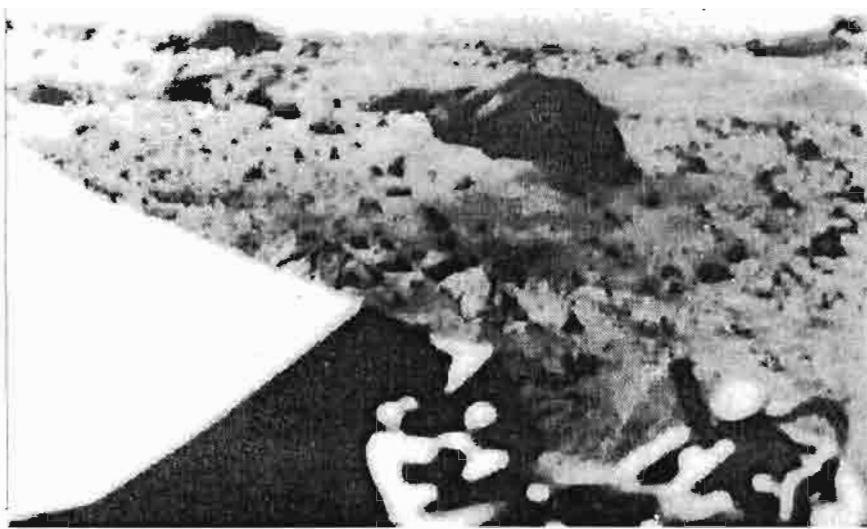
Među najspektakularnije pojave na Marsu spadaju njegovi veliki vulkani. Najviše ih ima u oblastima Tharsis, Elysium i Hellas. Četiri vulkana u oblasti Tharsis su tako visoki da im se vrhovi praktično nalaze u svemiru.



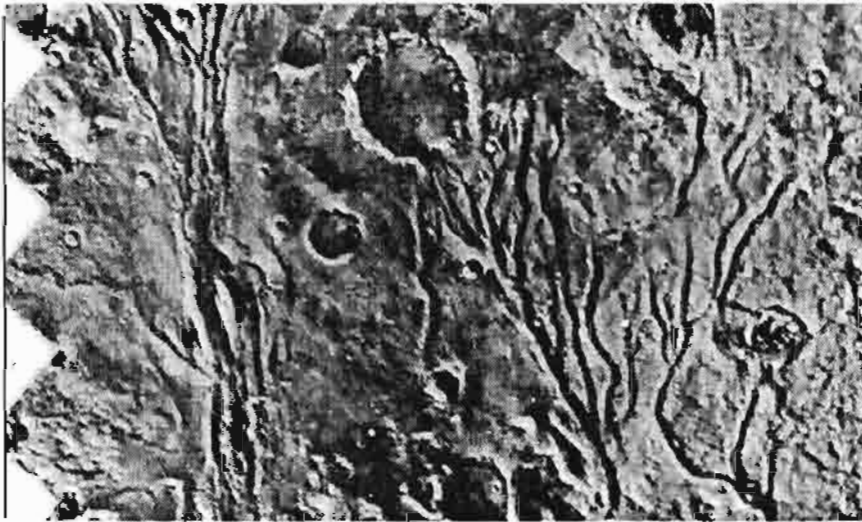
SI.50 Predio oko Marsovog ekvatora. Vidljive su krivudave doline nastale raznim tektonskim procesima. Snimak letjelice "Viking 1".



SI.51 Pejzaž na Marsu oko jednog od lendera "Vikinga". Snimak je načinjen 1976. godine. Vidi se kamenje različitih dimenzija i lako se opažaju očigledni utjecaji eolske (djelstvo vjetra) erozije.



Sl.52 Izmaglica na Marsovom nebu u pozadini velike stijene široke 3 metra i visoke oko jednog metra. Vidljiv je i dio letjelice koja se meko spustila direktno na površinu crvene planete.



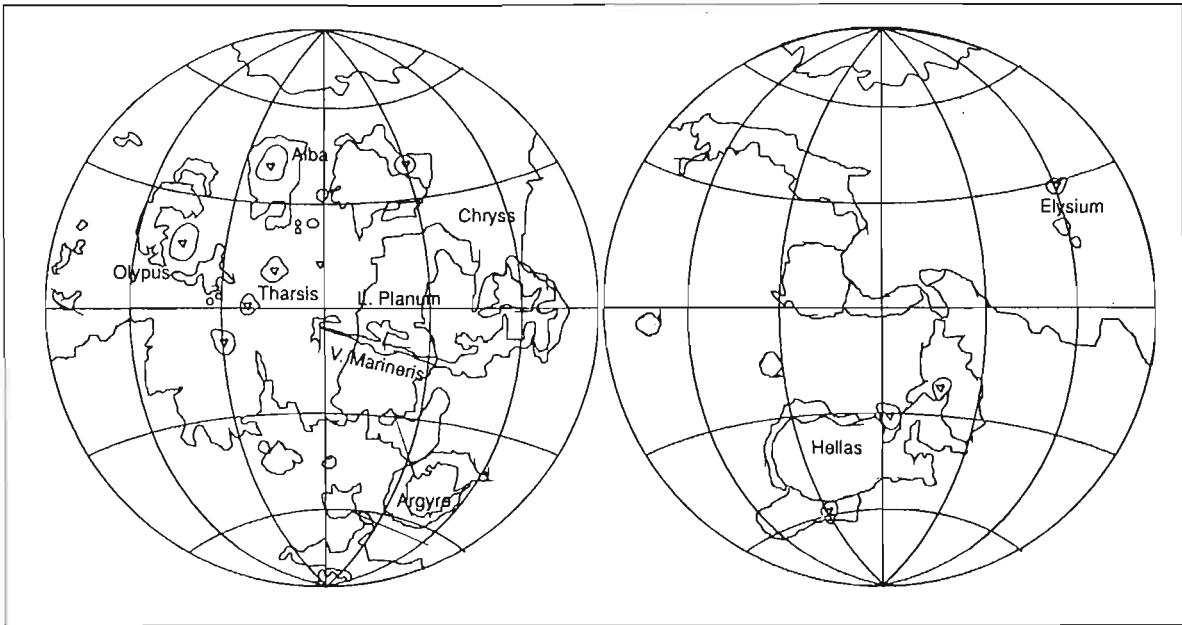
Sl.53 Oblast na Marsu zapadno od Chryse Planitia. Kanali koji se vide, mogli su nastati divovskim poplavama koje su se zbile u davnoj prošlosti planete. U nekim slučajevima kanali prolaze kroz kratere, a ima primjera da su krateri utisnuti u kanale i očigledno mlađi od njih. Izvori bujica koje su formirale kanale leže, prema pretpostavkama planetologa, najvjerovatnije u zoni Lunae Planum.

Tokom velikih pješčanih oluja, jedino se oni vide, dok su svi drugi detalji na Marsu zamućeni. Najveći od ovih vulkana je **Olympus Mons** koji se kao mamutski konus sa osnovom prečnika 500 km, diže do visine od 25 km. Na vrhu je krater prečnika 80 km. Ovo je najviša planina u Sunčevom sistemu.

Ako se zaputimo istočno od Tharsisa, nailazimo na plato veći od Tibeta, prekriven divovskim spletom kanjona.

Dugi su stotinama i tisućama kilometara. Ova oblast se naziva Valles Marineris. U mnogim slučajevima, kanjoni su široki i više od 80 km, a duboki do 8 kilometara. Oni su najvjerovatnije nastali tektonskim skupljanjem Marsove kore nekada davno, u ranoj mladosti ove planete.

U nekim predjelima, kao što je np. zapadno od Chryse Planitia, nalaze se prave mreže kanala koji podsjećaju na



SI.54 Gruba mapa Marsa sa glavnim oblastima i strukturama.

isušena riječna korita. Kao što znamo, danas na Marsu nema tekuće vode. Atmosferski pritisak je suviše mali za takvo nešto. Ali, nekada u prošlosti, očigledno je mogla postojati voda.

Pomenuli smo već da Mars ima izuzetno rijetku atmosferu. Lenderi letjelica "Viking" utvrdili su da je pritisak na površini planete 0,006 do 0,015 dijelova normalnog pritiska na Zemlji. Pri ovakvom, gotovo vakuumskom stanju, voda bi ključala već na temperaturi nešto iznad tačke smrzavanja. Ustanovljeno je da je sastav Marsove atmosfere onakav kakav je u tabeli 2.

Iako je atmosfera rijetka, na Marsu su česti vjetrovi, pa i oluje. Značajan udio u oblikovanju terena ima eolska u prosjeku 2 - 7 metara u sekundi. Povremeno, tokom velikih pješčanih oluja, kada čitava crvena planeta utone u prašinu, brzine vjetrova su veće i kreću se od 15-30 metara u sekundi. Prašina se skuplja iza stijena, u zavjetrini, ali i iza kratera i većih struktura. U nekim oblastima se nalaze čitava polja duna i tu se radi o pravim

Tabela 2

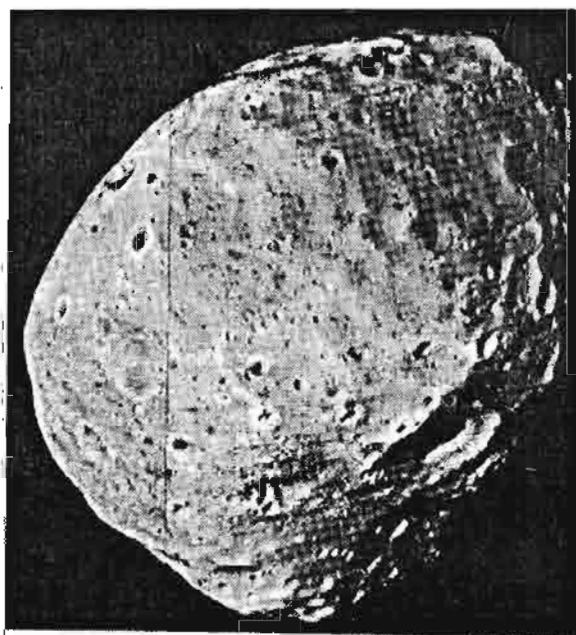
Ugljični dioksid	95,32%
Dušik (N ₂)	2,70%
Argon (Ar)	1,60%
Kisik (O ₂)	0,13%
Ugljični monoksid	0,07%
Vodena para (H ₂ O)	0,03%
Neon (Ne)	2,50 dnm
Kripton (Kr)	0,30 dnm
Ksenon (Xe)	0,08 dnm
Ozon (O ₃)	0,03 dnm

Skrećenica "dnm" znači "dijelova na milion"

pustinjama identičnim onim zemaljskim. Zbog svega toga, u atmosferi Marsa uvijek ima crvenkaste prašine pa je njegovo nebo uvijek ružičasto.

Oblasti na polovima se razlikuju od drugih dijelova planete. Imaju slojevit

koncentričnu strukturu i vjerovatno se radi o stalnim taloženjima prašine. Južna polarna kapa je manja i ljeti gotovo nestaje, što nije slučaj sa sjevernom. Debljina pojedinih slojeva sjeverne polarne kape iznosi od 50 do



Sl.55 Marsovi sateliti Fobos (gore) i Deimos (dole) u potpunosti liče na asteroide.

100 metara. Tu nema tragova udarnih kratera, pa su slojevi očito nastali razmjerno nedavno. Ne bi trebali biti stariji od desetak miliona godina.

Tokom odvijanja projekta "Viking" vršeni su eksperimenti sa ciljem da se ustanovi postojanje makar i najprimitivnijih formi života. Eksperimenti su dali negativne rezultate.

Mars ima dva satelita. Nazvani su **Fobos** ili strah i **Deimos** ili užas. To su imena mitoloških pratioca boga rata. Otkrio ih je **Asaph Hall** 1877. godine. Radi se o malim nepravilnim tijelima, sličnim asteroidima. Prekriveni su mnogobrojnim kraterima nastalim udarima. Postoje indicije da se radi o asteroidima uhvaćenim Marsovom gravitacijom u davnoj prošlosti.

Fobos, koji je bliži planeti, ima dimenzije 25 x 20 km. Udaljen je oko 6000 km i treba mu 7 sati i 39 minuta da jednom obiđe oko Marsa. Pri tome, za posmatrača na Marsu, Fobos izlazi na zapadu i zalazi na istoku. Deimos ima dimenzije 16 x 10 km i orbitira na visini od 20 000 km iznad površine. Potrebno mu je oko 30 sati i 18 minuta za jedan obilazak oko Marsa.

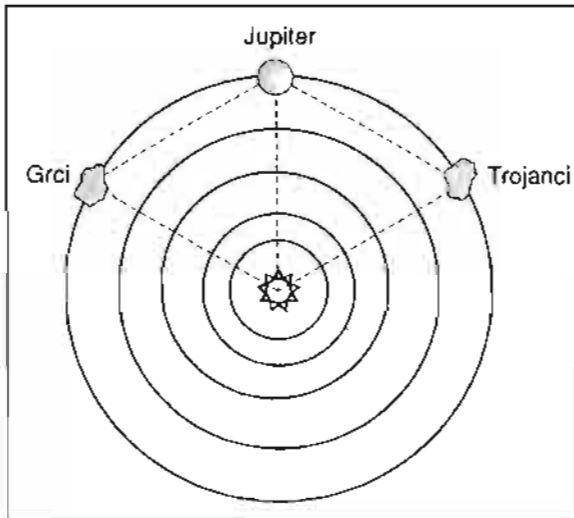
Asteroidi

Veliki prostor između orbita Marsa i Jupitera zauzimaju mala tijela koja nazivamo asteroidi. Smatra se da ih ima barem 250 000.

Za oko 5000 ovih malih tijela, utvrđeni su elementi orbita i određeni im nazivi u skladu sa odlukama Međunarodne astronomske unije.

Prvi asteroid otkrio je **Piazzi**, sa opservatorije u Palermu daleke 1801. godine. On je dobio ime **Ceres**. U prvom trenutku se smatralo da je otkrivena nova planeta koja upotpunjuje prazninu između Marsa i vanjskih planeta. Međutim, uskoro je došlo do novih otkrića. Tako je **Harding** 1804. godine otkrio Juno, a **Olbers**, tri godine

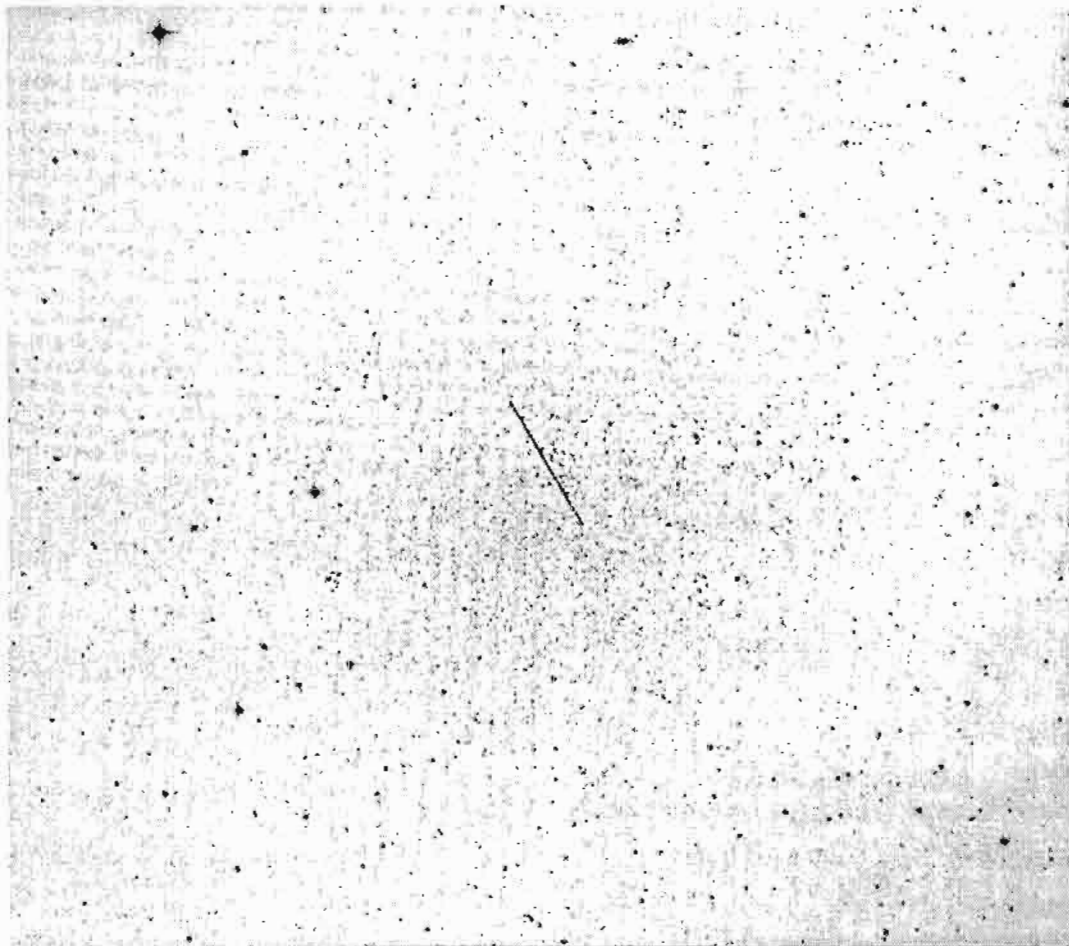
kasnije, **Vestu**. Ovaj asteroid moguće je nekada posmatrati i golim okom, kada je dovoljno sjajan. Kasnije su opažene stotine i tisuće novih malih planeta.



SI.56 Kretanje asteroida iz grupa poznatih kao Trojanci i Grci koji se "drže" zajedno.

U početku, otkrivanje ovih objekata vršeno je vizuelno, pomoću teleskopa. Asteroidi se kreću dosta brzo i zbog toga je u kraćem vremenskom intervalu moguće opaziti njihovo pomjeranje među zvijezdama. Primjena fotografije znatno je pojednostavila opažanje ovih tijela. U toku duže ekspozicije, astrograf prati rotaciju Zemlje i tako zvijezde ostaju tačkaste. Asteroidi, zbog svog sopstvenog kretanja, na fotografskoj ploči ostavljaju trag u vidu duže ili kraće crtice.

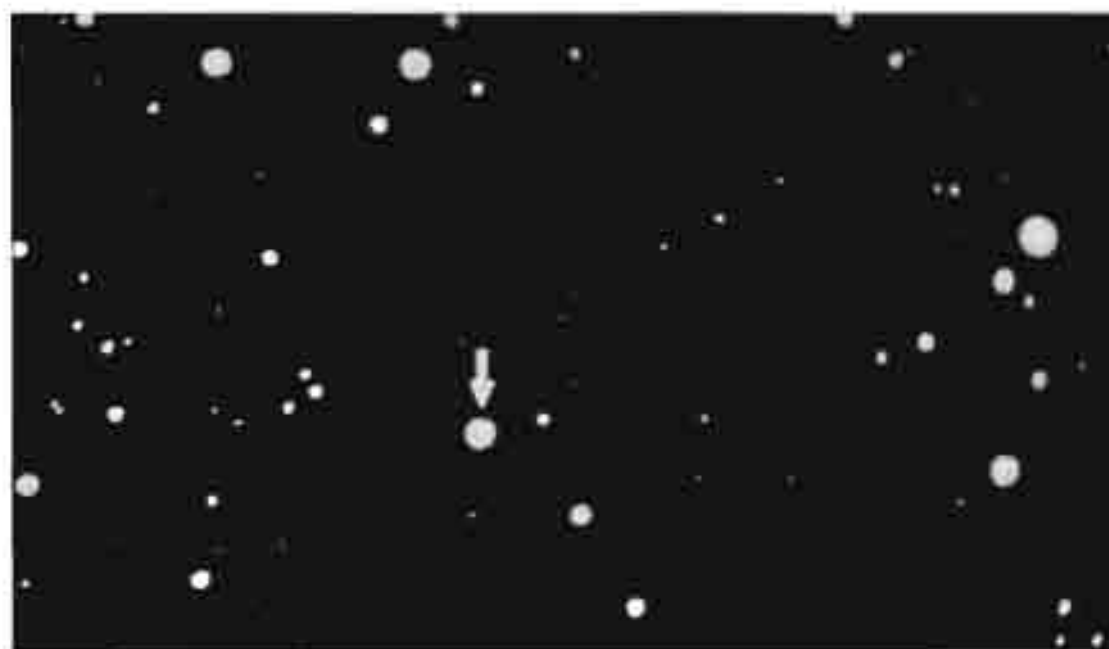
Izuzev Veste, svi ostali asteroidi su ispod šeste prividne veličine po svom sjaju. Putanje su im različite i idu od gotovo kružnih, pa do eliptičnih, sa velikim ekscentricitetom. Posebno interesantno kretanje imaju asteroidi iz



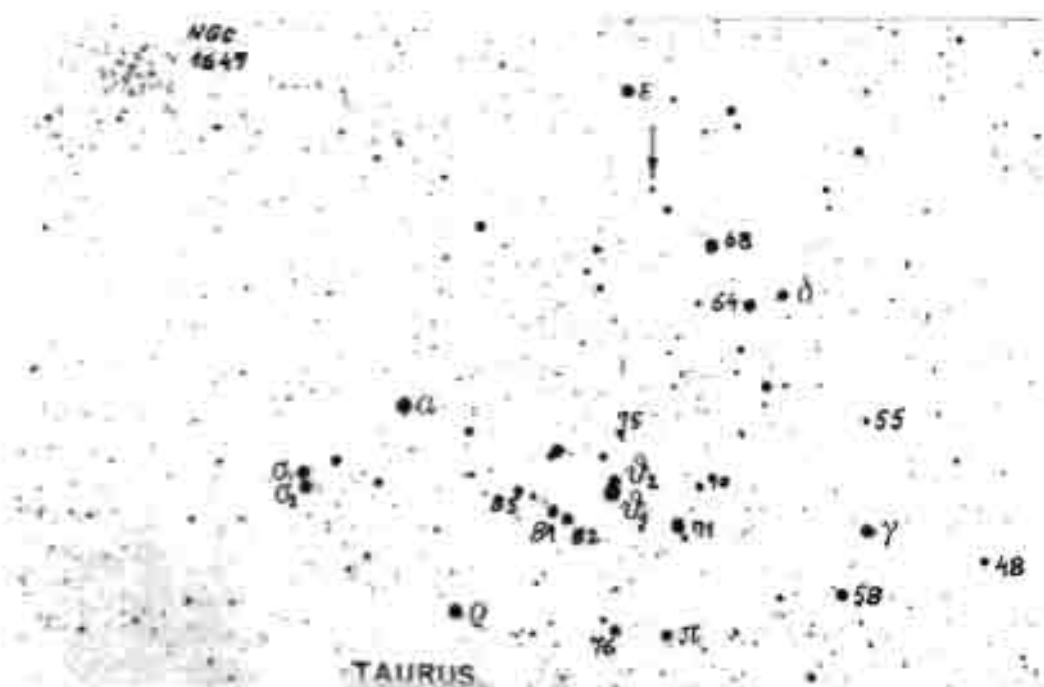
SI.57 Asteroid 2100 nazvan Ra-Shalom. Tokom ekspozicije od 60 minuta, na Schmidt teleskopu Evropske južne opservatorije, asteroid se pomjerio među zvijezdama. Trag u vidu crtice dug je oko 5 uglovnih minuta.

grupa Trojanaca i Grka. One su primjer specijalnog slučaja problema tri tijela koji je egzaktno riješen. Naime, asteroidi **Trojanci** i **Grci**, zajedno sa Suncem i Jupiterom, čine ravnostrane trokute. Kreću se tako da neprekidno ostaju u jednom od vrhova tog trokuta.

Neki od asteroida, pri svom kretanju oko Sunca, mogu da dođu na veoma malo rastojanje od Zemlje. Tako je **Ikar** 1968. godine prošao na rastojanju od 7 miliona kilometara. Kasnije su otkriveni asteroidi koji mogu da dođu još bliže i na rastojanja nešto ispod 500 000 km.



Sl.58 Asteroid Eros snimljen sa Astronomske opservatorije u Sarajevu pomoću dvostrukog astrografa. Snimio M.Muminović.



Sl.59 Strijelica pokazuje asteroid Ceres koji se krajem 1975.g. našao u Biku. Snimak M.Muminovića sa Astronomske opservatorije u Sarajevu.

Dimenzije asteroida mogu biti različite. **Ceres** je najveći, sa prečnikom od oko 1000 km. **Vesta**, drugi po veličini, ima diameter od oko 600 km. Svi drugi asteroidi, u prosjeku su manjih dimenzija, a kod mnogih se veličina mjeri stotinama metara. Kod nekih asteroida ustanovljene su promjene sjaja. Tako **Antigona** mijenja sjaj u toku 2,4 sata, a **Eros** za 5 sati. Ovo se objašnjava time što ova tijela imaju veoma nepravilnu formu. Rotirajući oko svoje ose, asteroidi okreću naizmjenično dijelove svoje površine koji su različitih dimenzija.

Među asteroidima postoje razlike u boji i albedu. Gotovo tri četvrtine njih imaju nizak albedo koji se kreće oko 3,5%. Oni su, dakle, veoma tamni. Ako ih upoređujemo sa meteoritima onda bi njihov sastav bio kao kod minerala poznatih kao ugljični hondriti. Ovakve



Sl.60 Asteroid Gaspra snimljen pomoću CCD kamere letjelice "Galileo".

asteroide zovemo asteroidima C-tipa. Asteroidi S-tipa su crvenkaste boje i sačinjavaju jednu šestinu od ukupnog broja posmatranih malih planeta. Sjajniji su i albedo im se kreće oko 16%.

Oni su najvjerojatnije građeni od silicija sa primjesama željeza i magnezija. Asteroidi M-tipa su sastavljeni od nikla i željeza.

Pitanje postanka asteroida još uvijek je otvoren problem. Postavljeno je više hipoteza. Po jednoj od njih, oni bi bili dijelovi materijala koji je preostao poslije formiranja planetarnog sistema oko Sunca. Druga mogućnost se sastoji u tome da bi asteroidi mogli biti ostaci neke planete koja se, u toku povijesti Sunčevog sistema raspala. Uzrok raspada mogle bi biti moćne gravitacione sile Jupitera kome se ta hipotetična planeta previše približila.

Krajem 1991. godine, američka svemirska letjelica "Galileo", koja se zaputila ka Jupiteru, prošla je kraj malog asteroida **Gaspra**. Najmanja udaljenost u trenutku prolaska, bila je 1600 km. Tada su načinjeni prvi, povijesni snimci jedne male planete. Letjelica i asteroid su se mimoišli sa relativnom brzinom od 8 km s^{-1} . Gaspra je prekrivena kraterima, nepravilnog je oblika i dimenzije su joj 16 puta 12 km. Kasnije je snimljen i drugi, dvojni asteroid, **Ida**.

Meteori

U međuplanetskom prostoru nalaze se mnogobrojna mala tijela koja zovemo meteoroidi. Ovi čvrsti komadi materije, masa između 10^{-10} - 10^4 kg, kreću se oko Sunca najrazličitijim putanjama. Pri tome se najčešće pojavljuju u obliku rojeva ili potoka. Zbog malih dimenzija i masa, u slobodnom kosmičkom prostoru ih nije moguće opaziti optičkim putem. Tek kada meteoroidi, sa brzinama od 11 do 72 km s^{-1} , prodru u Zemljinu atmosferu, možemo ih opaziti. Uslijed trenja

sa zrakom, oni sagorijevaju, ostavljajući pri tome slabiji ili sjajniji trag na nebu. Otuda se za ove pojave koriste i razna narodna imena kao zvijezde padalice, nebeske krijesnice i sl. Astronomi ih nazivaju meteorima.

Kada u atmosferu prodre krupnije meteorsko tijelo, onda se može

postoje i velika odstupanja. Tako poznati roj **Perzeida** im putanju koja je gotovo normalna na ravan Zemljine orbite (ekliptiku).

Istraživanja u toku dužeg perioda, ukazala su na veze koje postoje između meteora i kometa. Tako roj **Drakonida** potiče od ostataka komete,

Tabela 3

Veći meteorski rojevi

NAZIV	PERIOD POJAVLJIVANJA	MAKSIMUM
Kvadrantidi	01.01.- 05.01.	03.01.
Liridi	20.04.- 23.04.	22.04.
Eta Akvaridi	21.04.- 12.05.	05.05.
Delta Akvaridi	14.07.- 25.08.	29.07.
Perzeidi	23.07.- 23.08.	12.08.
Tauridi	15.09.- 01.11.	03.11.
Orionidi	02.10.- 07.11.	22.10.
Geminidi	04.12.- 16.12.	14.12.

posmatrati let **bolida** ili vatrene kugle koja, uz blještav sjaj, a nekada i sa zvučnim efektima, može da dopre i do površine Zemlje. Komadi meteorske materije, koje sada zovemo **meteoriti**, mogu se izučavati u laboratorijama.

Ima mnogo meteorskih rojeva, a obično se označavaju prema sazviježđu u kojem se nalazi njihov radijant. Naime, članovi svakog od rojeva kreću se paralelno u prostoru. Posmatrač na Zemlji se čini da svi oni dopiru iz jedne tačke. Ta tačka se naziva **radijant**. Tako postoje meteorski potoci **Perzeidi**, **Liridi**, **Akvaridi**, **Kasiopeidi** i sl. Svaki od njih javlja se u određeno doba godine, kada ih Zemlja susreće pri svom putu oko Sunca. Nagibi putanja većine rojeva približno se podudaraju sa ravni ekliptike, ali

a slične veze otkrivene su kod još nekoliko potoka.

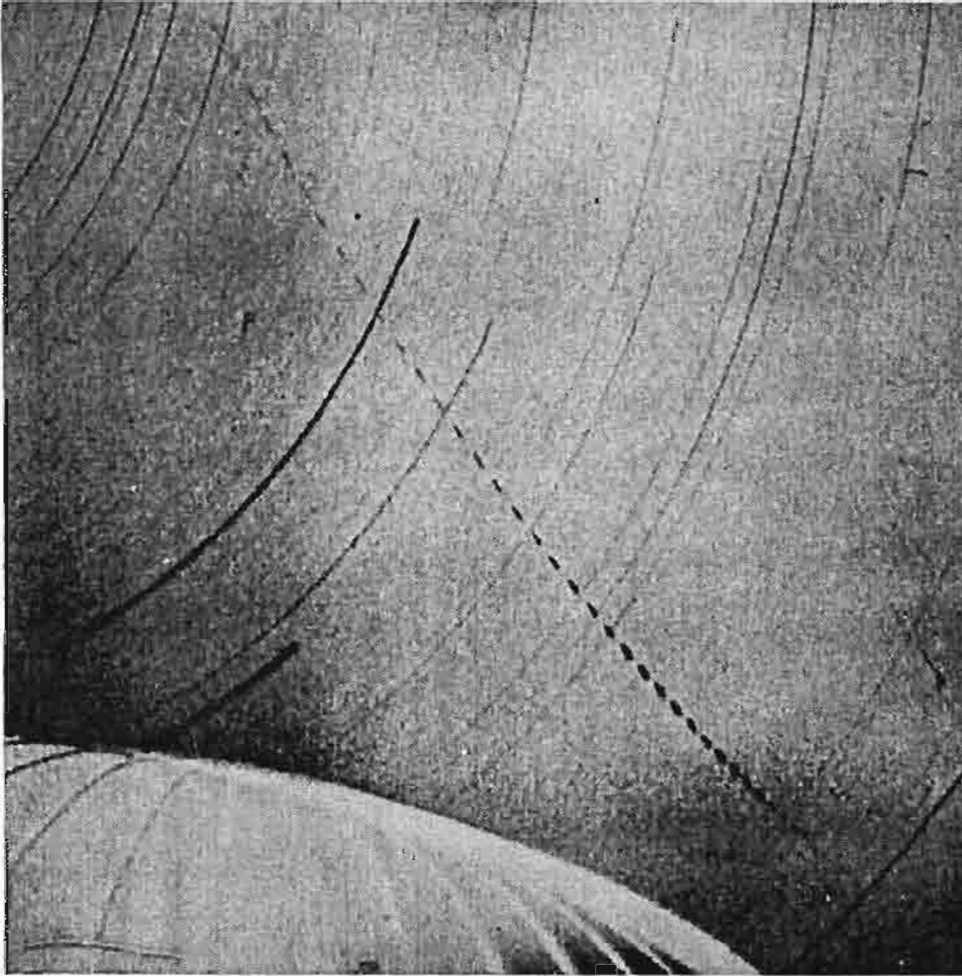
Meteori se razlikuju po svom sjaju, uglovnoj brzini leta i općem izgledu. Obično se javljaju u vidu dužeg ili kraćeg traga. Ukoliko su sjajniji, tada je moguće snimiti njihove tragove pomoću običnog fotografskog aparata. Za ove svrhe su pogodne širokougaone kamere, jer su tragovi meteora, u najvećem broju slučajeva, veoma dugi. Obično se raspoređuju po nekoliko kamera koje su usmjerene tako da pokrivaju što veći dio neba.

Ukoliko se ispred objektiva kamere postavi prizma (objektivska prizma), onda se može snimiti i spektar meteora. Ovakve snimke je teško dobiti, jer samo sjajni meteori mogu da ostave spektar na filmu. Pored toga, dešifri-

ranje ovih spektara je složen posao. Naime, zbog činjenice da meteori pod raznim uglovima u odnosu na kameru preleću preko vidnog polja, spektralne

godine kada je Zemlja ušla u potok Drakonida.

U augustu 1993. godine, tokom maksimuma Perzeida, desila se jedna



Sl.61 Fotografija sjajnog meteora-bolida iznad Sarajeva. Snimak Astronomske opservatorije u Sarajevu načinjen pomoću "fish-eye" kamere.

linije se deformiraju na razne načine i to otežava njihovu identifikaciju. Obično se za analizu uzima spektar neke susjedne sjajnije zvijezde sa kojim se meteorski spektar upoređuje.

Krećući se oko Sunca, Zemlja ulazi u, po gustini, različite dijelove jednog meteorskog potoka. Ponekada se dešavaju prave zvjezdane kiše. Tada više sati, ili po cijelu noć, nebo vrvi od meteora koji skoro svake sekunde ulijeću u atmosferu. Najjača zvjezdana kiša u ovom stoljeću desila se 1933.

"mini" zvjezdana kiša. U Sarajevu tada, kao i veći dio rata, nije bilo struje, pa se pojava mogla posmatrati iz grada.

Visine na kojima se meteori pojavljuju, mogu se mjeriti trigonometrijskim putem. Pri tome je neophodno da dva posmatrača ili još bolje, dvije kamere, istovremeno registriraju isti meteor. Posmatranje meteora može da se vrši i pomoću radara. Poslani radarski snop se odbija o ionizirani trag koji meteor ostavlja i zatim vraća natrag. U ovim radovima naročito se istakla

radio-astronomska opservatorija Jodrell Bank kod Manchester-a u Velikoj Britaniji koja je ove pojave sistematski pratila.

Kao što smo već spomenuli, krupnija meteoroidna tijela mogu da dopru i do površine Zemlje. Tokom historije, bilo je dosta takvih padova. Međutim,

Neki veoma veliki meteoriti su, svojim udarom u tlo, ostavili ogromne kratere. Jedan od najpoznatijih se nalazi u Arizoni (USA). Ovaj krater ima prečnik od 1200 m i dubinu od oko 175 m. U Argentini, na mjestu zvanom Campo del cielo (Zvezdano polje) nalazi se čitava grupa kratera.



Sl.62 Banger-ov meteoritski krater u Arizoni snimljen iz helikoptera.

na takve pojave nije se obraćala velika pažnja, jer se sumnjalo u mogućnost da kamenje pada sa neba. Najveći pronađeni meteorit je Hoba koji se nalazi u pustinji Jugozapadne Afrike. Njegova težina se procjenjuje na oko 66 tona.

Kod 66% nađenih meteorita, željezo je osnovni sastojak. Međutim, ne treba smatrati ovaj podatak pouzdanim iz razloga što se druga vrsta meteorita, koji se nazivaju kameni, teže opaža i nekada ne razlikuje od običnog kamenja. Željezni meteoriti, pored željeza, sadrže i nikl, kobalt, fosfor, te manje količine drugih elemenata. Kod kamenih meteorita se sreću kisik, željezo, silicij i mangan.

1908. godine, u rejonu rijeke Podkamenaja Tunguska, u pustim predjelima Sibira, desila se eksplozija izazvana padom ogromne užarene kugle čiji je let preko neba vidjelo desetine tisuća ljudi. Prva ekspedicija je uslijedila mnogo godina kasnije. U zoni pada i dan danas se nalazi drveće koje je radijalno od središta eksplozije povaljano i nagorjelo usljed požara.

Do sada nisu pronađeni direktni dokazi da je neki meteorit izazvao ovu eksploziju. Kasnije su se javile i druge hipoteze kao što je jedna da se radilo o jezgri neke male komete. Ovo jezgro se praktično isparilo zbog temperature nastale trenjem od atmosferu.

Zodijačka svjetlost

Oko Sunca postoji mnoštvo čestica prašine koje ga okružuju poput divovskog oblaka. Ova izuzetno razrijeđena materija svjetluca, odbijajući sunčeve zrake. Najveći dio ove materije leži u ravni ekliptike ili Zodijskoga, pa je po tome i dobio ime. Zodijska svjetlost se može vidjeti u proljeće, neposredno po zalasku Sunca, i u jesen, prije njegovog izlaza. Naravno, potrebno je



Sl. 63 Zodijska svjetlost

posmatranje vršiti sa mjesta daleko od gradova i umjetne svjetlosti. Svjetlost se pojavljuje u vidu trokutaste trake koja se sužava kada od horizonta idemo po ekliptici. Ovaj oblak međuplanetske materije prostire se i znatno dalje od Zemljine orbite.

Sa visokih planinskih opservatorija, gdje je atmosfera prozirna, može se opaziti još jedna zanimljiva pojava, slična prethodno opisanoj. Nazivamo je "**svjetlucaje nasuprot Suncu**". Na ekliptici, tačno na suprotnoj strani od Sunca, vidljiva je mrlja slabog sjaja. Ona potiče od čestica koje proizvode zodijska svjetlost, a nalaze se dalje od Zemlje, a na strani suprotnoj od Sunca.

Oko Zemlje kruže dva mala prašinasta oblaka izuzetno slabog sjaja. Te dvije nakupine međuplanetske materije nalaze se u svakoj od Lagrange-ovih tačaka (60° iza i 60° ispred Mjeseca na njegovoj orbiti oko Zemlje). Njih je otkrio poljski astronom **K. Kordylewski** 1961. godine. Kasnije su opaženi i sa satelita OSO 6, a i fotografski je sa Zemlje potvrđeno njihovo postojanje (**M. Winiarski**).

Komete

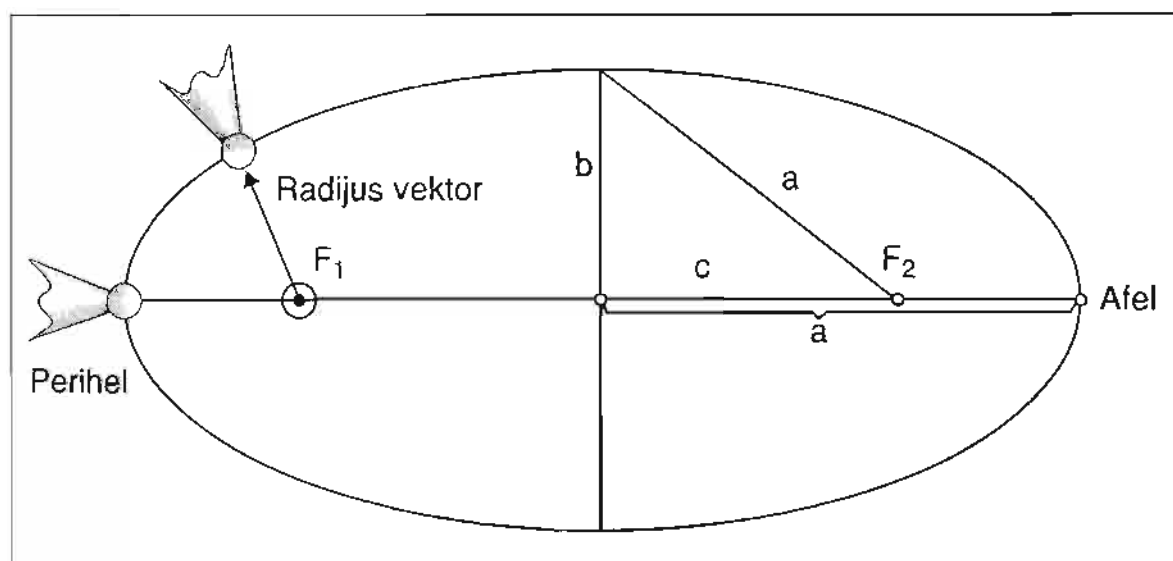
Komete se ubrajaju među najimpozantnije nebeske pojave. U toku povijesti čovječanstva, pojavljivale su se brojne, često veoma sjajne, komete. U tim dalekim vremenima one su najčešće smatrane predznacima svih mogućih nesreća. To je, pored ostalog, bilo uzrokovano njihovim iznenadnim pojavljivanjem na prividno nepromjenljivom nebeskom svodu, i svakako, njihovim neuobičajenim izgledom.

Kada su daleko od Sunca, komete obično izgledaju kao maglovite mrlje. Približavajući se Suncu, dolazi do

postepene pojave repa (ili više repova) koji se prostiru na suprotnu stranu od Sunca. Veoma sitne prašinate čestice koje grade rep potisnute su pritiskom sunčeve svjetlosti. Spolja gledano možemo govoriti da se tipična kometa sastoji od jezgra, glave i repa. Pri tome je ovo jezgro onaj najsajjniji središnji dio. Pravo jezgro mogli smo posmatrati tek sa približavanjem **Halley-eve**

ekscentricitet tako što podijelimo rastojanje između jednog od žarišta i centra elipse, sa velikom poluosom. Krug je granični slučaj kod koga je ekscentricitet jednak nuli. Kod elipsi, ekscentriciteti se mogu kretati od 0 - 1. Parabola ima ekscentricitet jednak jedinici, a kod hiperbole je on veći od jedan.

Komete se, prema putanjama, mogu podijeliti na **kratkoperiodične** i



Sl.64 Putanja neke komete po elipsi. F_1 i F_2 su žiže elipse, a velika poluosa, b mala poluosa, a c linearni ekscentricitet. Numerički ekscentricitet definiramo kao $e = c/a$.

komete kada je ono snimljeno pomoću kamera pojedinih letjelica.

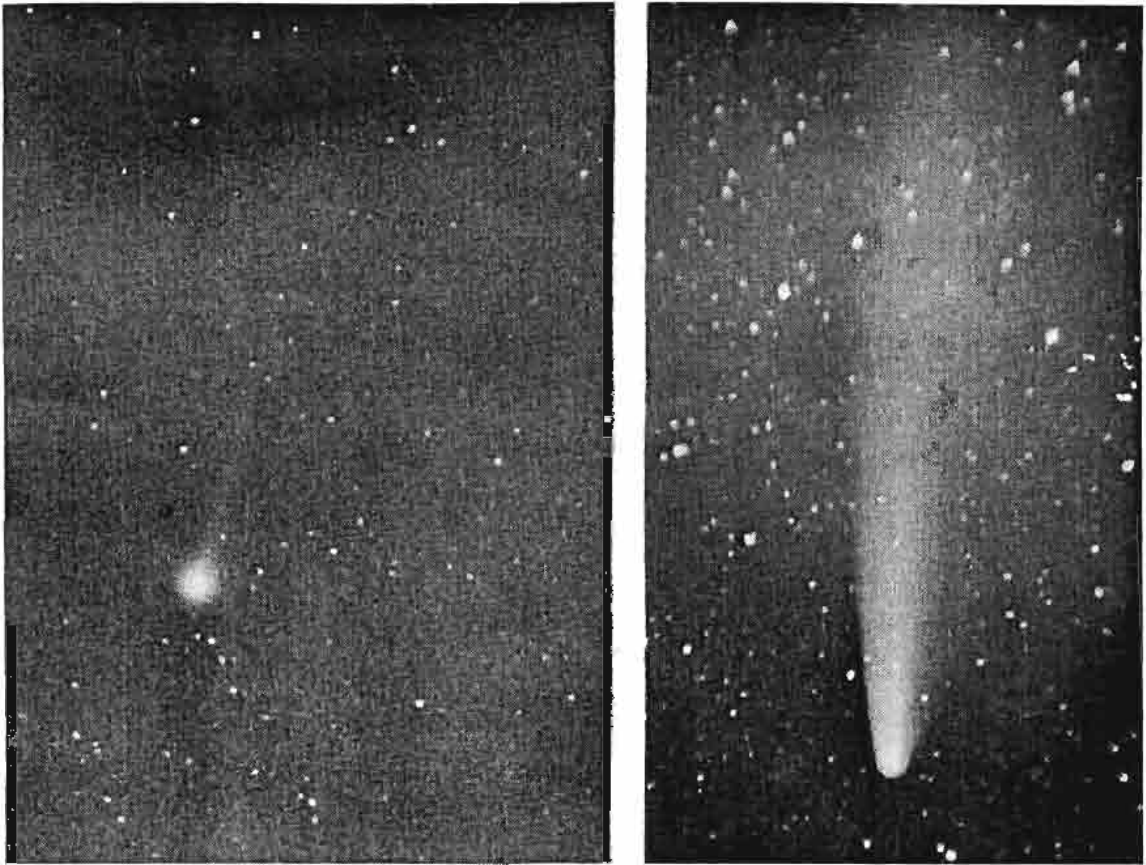
Orbite kojima se kreću ova tijela, mogu biti različite. Periodične komete imaju eliptične putanje. Neperiodične komete kreću se po parabolničnim putanjama, a moglo bi se govoriti i o nekim orbitama koje liče na hiperbole.

Kada je riječ o eliptičnim putanjama, sjetimo se da je elipsa zatvoreni geometrijski lik za koga je karakteristično da mu je zbir udaljenosti svake njegove tačke od dva žarišta (žiže) konstantan i jednak dužini velike ose. Kod elipse, definiramo numerički

dugoperiodične. Ove prve imaju ekscentricitete od 0,2 do 0,9. Među njima se ističe Jupiterova porodica kometa. Smatra se da su ove komete nekada bile dugoperiodične, ali ih je Jupiter, svojom gravitacijom postepeno privukao i izmjenio im orbite.

Astronomi svake godine otkriju po nekoliko novih kometa. Označavaju se slovom C, godinom otkrića i odgovarajućim slovom i brojem. Kasnije odlukom komisije Astronomske unije one dobiju i ime po svojim otkrivačima.

Glavni uzročnik svih pojava vezanih uz komete je **jezgro**. To je tijelo



SI. 65 Lijevo je fotografija komete Kobajaši-Berger-Milon snimljena u augustu 1975. godine. Na fotografiji desno je Benett-ova kometa koja se golim okom mogla posmatrati u rano proljeće 1970. godine. Snimio M.Muminović sa Astronomske opservatorije u Sarajevu.

nepravilnog oblika, prečnika u prosjeku desetak kilometara. Približavajući se Suncu, ovo jezgro se postepeno zagrijava i erpucijama izbacuje čestice prašine i plinove. Obično komete sadrže dva repa od kojih je jedan prašinski, a drugi od plazme. Prašinski je žućkaste boje, jer je njegova svjetlost reflektirana svjetlost Sunca. Plazmeni rep je plavičaste boje i sadrži dosta ioniziranog ugljičnog monoksida, čije zračenje ima maksimum u oblasti valnih dužina od 420 nm. To je plavi dio spektra. Repovi građeni od prašine mogu imati dužinu od milion pa do više desetina miliona kilometara. Plazmeni repovi su još duži i nekim slučajevima se protežu do 100 miliona kilometara.

Vanatmosferska posmatranja nekih kometa (Tagosato-Kosaka, Benett,

Kohoutek), u spektralnoj oblasti od 121 nm odnosno u ultraljubičastoj oblasti, pokazala su da su komete obavijene divovskim oblakom vodika. Pretpostavlja se da najveći dio tog vodika nastaje fotodisocijacijom usljed djelovanja sunčeve svjetlosti.

Koma ili glava komete je sferični oblak prašine i plinova koji okružuju jezgro. Prečnici kome se kreću od stotinu tisuća, pa do milion kilometara. U sastavu komete primjećuju se, uglavnom, neutralni atomi i molekule.

Porijeklo kometa je još uvijek neriješena zagonetka. Statistike pokazuju da se većina kometa kreće po orbitama koje su direktne, i pod nagibima ne većim od 30°, u odnosu na ravan ekliptike. Ali, opažene su i drugačije orbite i retrogradna kretanja. To se posebno odnosi na dugoperi-



Sl. 66 Kometa Kohoutek se krajem 1973. g. mogla posmatrati golim okom i za nju se sumnjalo da će biti kometa stoljeća, ali to se nije desilo. (Snimak M. Muminović, ops. Sarajevo).

odične komete koje bi, po nekima mogle biti i međuzvijezdanog porijekla. **Jan Oort** je 1950. godine došao do pretpostavke koja se održala i do danas. On je pretpostavio da komete grade sferični oblak oko Sunca, koji se prostire na daljini između deset tisuća i stotinu tisuća astronomskih jedinica. To su udaljenosti koje su uporedljive sa prosječnim razdaljinama između zvijezda. Ovaj kometni oblak bi, prema Oortu, sadržao oko 200 milijardi kometa čija bi ukupna masa bila ravna desetini mase Zemlje.

Gravitacioni uticaji bližih zvijezda djelovali bi na stabilnost oblaka i

usmjeravali pojedine komete ka Suncu ili van, u međuzvijezdani prostor. Dalju ulogu preuzimaju planete, posebno velike, čije bi gravitacione sile "zarobljavale" pojedine komete i njihove orbite time načinile eliptičnim.

Posljednjih nekoliko decenija mogli smo posmatrati nekoliko sjajnijih kometa. U rano proljeće 1970. godine, jasno se golim okom vidjela **Benett-ova** kometa. 1973. godine otkrivena je **Kohoutek-ova kometa** i to oko 8 mjeseci prije prolaska kroz perihel. Nazivana je kometom stoljeća jer se očekivalo da će krajem 1973. godine dostići ogroman sjaj i vidjeti se poput

velikih kometa iz prošlog stoljeća. Prognoze su se, na žalost, izjalovile. Sjaj komete nije bio ni približno onoliko velik kako se mislilo.

Jedna od najsajnijih kometa u posljednjih dvadesetak godina, bila je kometa **West (1975g)** koja se prostim okom vidjela na istočnom horizontu u zoru, tokom ranog proljeća. Rep joj je dostigao uglovnu dužinu od 30° . Tokom njenog prolaska kroz perihel mogla se vidjeti i danju, pored Sunca. Kod nje je takođe opaženo cijepanje jezgra na 4 dijela.

Povratak najčuvenije periodične komete, poznate kao **Halley-eva**, koji se desio 1985/86. godine, bio je prilika

da se naša saznanja o ovim prekrasnim nebeskim pojavama u velikoj mjeri prodube. U okviru međunarodne kampanje čitava flota letjelica bila je upućena ka ovoj kometi. Sovjetski Savez je, u saradnji sa nizom zemalja, uputio letjelice "**Vega 1**" i "**Vega 2**" čija je glavna misija bilo istraživanje Venere. Nakon što su letjelice spustile lendere sa balonima ka površini Venere, pogodnim manevrom su produžile ka kometi.

Evropska svemirska agencija (ESA), uputila je sondu "**Giotto**", dok su Japanci takođe poslali dvije letjelice. "**Vega 1**" je prošla na udaljenosti od oko 9000 km od jezgra komete i poslala



Sl.67 Kometa West (1975n) snimljena 08.03.1976. godine pomoću dvostrukog astrografa Astronomske opservatorije u Sarajevu. Snimio M.Stupar.

niz televizijskih slika. Japanski "Suisei" prošao je na oko 170 000 km i otkrio da kometno jezgro izbacuje velike količine molekula vode. "Vega 2" je prošla još bliže jezgru komete koje je na njenim snimcima izgledalo kao krompir. Evropski "Giotto" se uspio približiti jezgru Halley-eve komete na razdaljinu od oko 5000 kilometara. Pokazalo se da je duža osa jezgra duga oko 15 km, a kraća oko 8,5 km, Jezgro je veoma tamno poput ugljene gromade, a zapažen je jedan snažni i više manjih

eruptivnih mlazeva materije. Konstatirano je prisustvo vode, ugljičnog dioksida i dušika, što se i očekivalo.

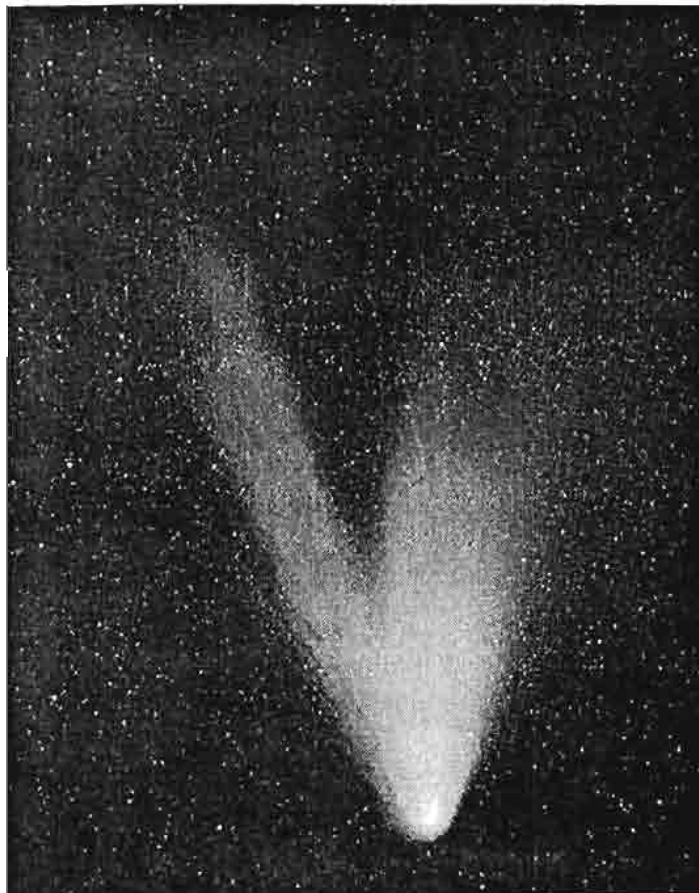
Početak proljeća 1996. godine ostaće upamćen po izuzetno sjajnoj kometi **Hyakutake** koja se približila Zemlji na svega 15 miliona kilometara. Jedna još sjajnija komete, Hale-Bopp, približava se Suncu dok se ova knjiga predaje u štampu, a astronomi smatraju da bi ona mogla po sjaju biti komete stoljeća.



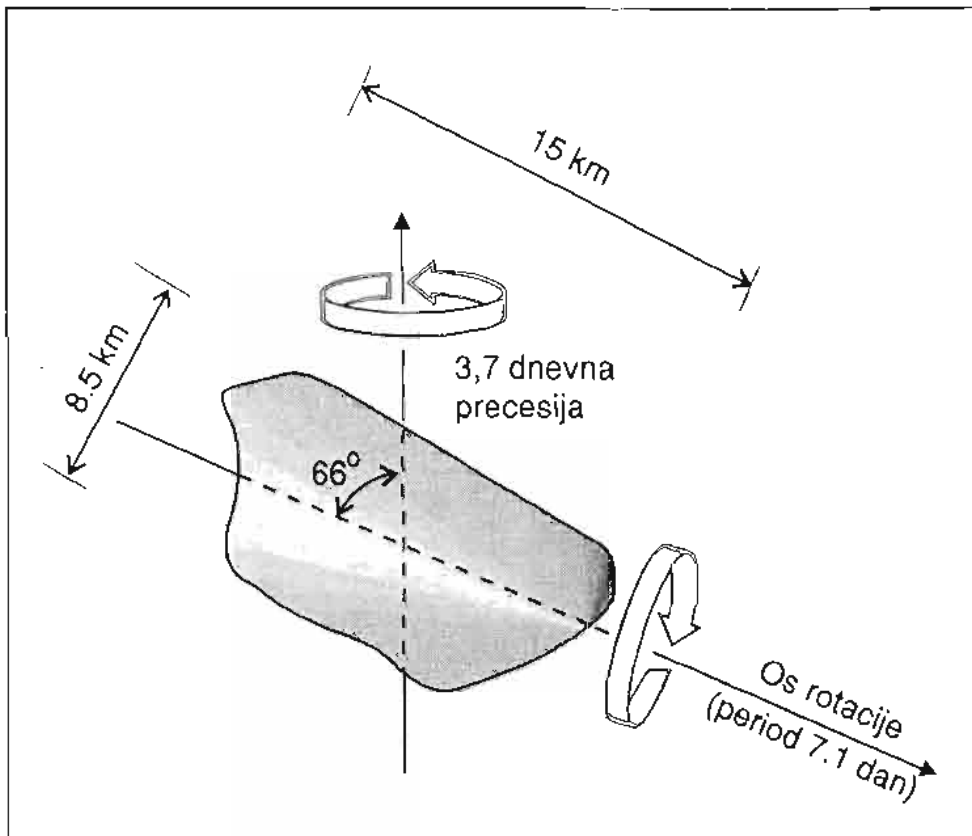
Sl. 68 Komet Hyakutake, C/1996 B2 snimljen Schmidt kamerom iz Wiesenfeldena u Njemačkoj. Snimili: P. Keller i G. Schmidbauer



SI.69 Halley-eva kometa. Snimak opservatorije Cerro Tololo.



SI.70 Jedna od najsajnijih kometa 20-tog stoljeća, kometa Hale-Bopp. Snimljena 9. marta 1997..



SI.71 Crtež jezgra Halley-eve komete sa osama rotacije i precesije.

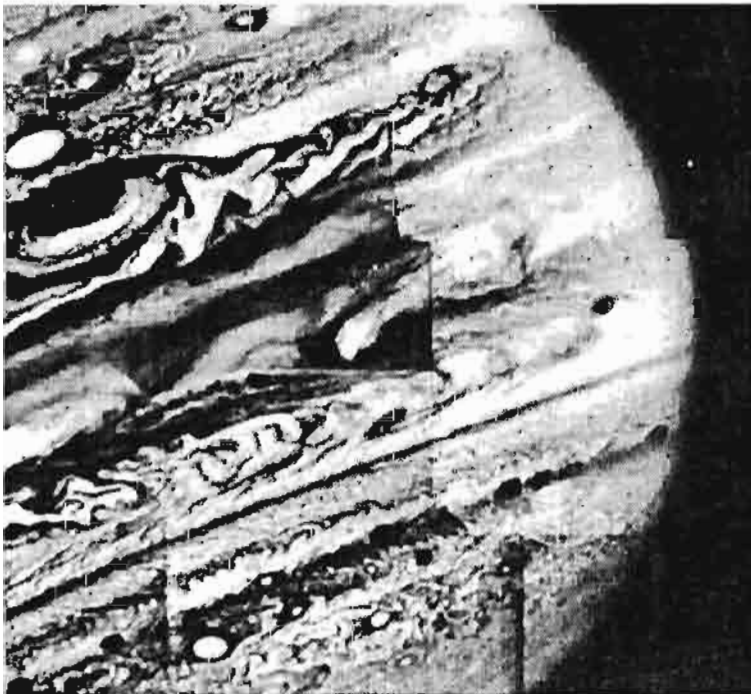


SI.72 Jezgro Halley-eve komete snimljeno kamerom letjelice "Giotto".

Jupiter

Jupiter je najveća planeta Sunčevog sistema i 13 puta većeg prečnika od Zemlje. Masa mu je ogromna i veća od zajedničke mase svih tijela u sistemu izuzev Sunca. Oko svoje ose rotira veoma brzo i na ekvatorskim oblastima, ta brzina rotacije iznosi oko 9 sati 50 minuta. Ovo nam govori da je Jupiter, po svojoj fizičkoj strukturi, različit od Zemlji sličnih planeta kakve su Merkur, Venera i Mars, te brojni sateliti.

Već malim teleskopom možemo uočiti osnovne strukture u njegovoj divovskoj atmosferi. Zapaža se niz paralelnih svijetlih i tamnih traka u kojima prevladavaju plavičasti, smeđi i narandžasti tonovi. Takođe se opažaju tamne i svijetle pjege, a najveća od njih



Sl.73 Jupiter u ljubičastoj svjetlosti. Snimak je načinila američka letjelica "Voyager 1" koja se u tom trenutku nalazila na daljini od oko 7,8 miliona km.

je poznata kao **Velika crvena pjega**. Dugogodišnja posmatranja pokazala su postojanje snažnih strujanja u atmosferi ove planete. Direktna ispitivanja Jupitera i njegovih satelita započela su 1973. godine. Tada je blizu njega prošla let-

jelica "Pionir 10", a godinu dana kasnije i "Pionir 11". Skromni uređaji ovih letjelica omogućili su znatno proširenje naših saznanja o Jupiteru. Prava revolucija je počela 1979. godine kada su letjelice "Voyager 1" i "Voyager 2", u razmaku od 4 mjeseca prošle pored ove planete. One su poslale ogroman broj snimaka visoke rezolucije.

Pokazalo se da Jupiter izuzetno aktivan svijet, svijet u kome dominiraju atmosferska strujanja nezamislivih razmjera. Velika crvena pjega je, prema ovim podacima, vrtložno kretanje koje je desetak kilometara izdignuto iznad svoje okoline. Boja pjege najvjerojatnije potiče od fosfora. Vodik i helij, koji su osnovni sastojci Jupiterove atmosfere, u osnovi su prozračni. Tek u debelom sloju postaju blijedo plavi. Odakle dolazi fosfor ili drugi uzročnik crvene boje, za sada nije poznato. Moguće je, da se u specijalnim uvjetima koji postoje u zoni pjege, hemijski uzročnik obojenja stvara nekim kompleksnim procesima u kojima učestvuje i energija Sunca.

Naše pretpostavke o unutrašnjoj građi ove planete se kreću oko toga da postoji omotač (atmosfera) građena uglavnom od vodika i helija. Ispod nje počinjao bi sloj metalnog vodika, a centralno jezgro bi trebalo biti građeno od silicija.

Tokom misije "Voyager" ustanovljeno je da Jupiter posjeduje prstenove koji su mnogo tanji od Saturnovih i, zbog slabog sjaja, sa Zemlje ih nije moguće opaziti. Jupiter raspolaže i sa moćnim magnetskim poljem koje je u

nekoj vrsti interakcije sa plazmom izbačenom od strane satelita Io.

Jupiter ima 16 do sada otkrivenih satelita. Četiri najveća su poznata kao Galilejevi sateliti, jer ih je on otkrio svojim prvim pogledom kroz teleskop.

vjerovatno nastale izbacivanjem materijala iz unutrašnjosti. Na Ganimedu su otkriveni i neobični, paralelni, snopovi pruga koji nalikuju "ogrebotinama" i prostiru se tisućama kilometara preko diska satelita. Letjelica



Sl.74 Velika crvena pjega, turbulentni poremećaj u atmosferi Jupitera, snimljena iz neposredne blizine pomoću uređaja međuplanetarne stanice "Voyager 1".

To su **Kalisto**, **Ganimed**, **Europa** i **Io**.

Kalisto ima prečnik od 4820 km, i gustinu 1810 kgm^{-3} . Njegovom površinom dominiraju udarni krateri. Gotovo da nema dijela površine koji nije prekriven nekim kraterom. Ova udubljenja su nešto ravnija od kratera na drugim planetama. Površinska temperatura na Kalistu iznosi oko 150 K, i on je očito u smrznutom stanju, barem u površinskim slojevima.

Ganimed, najveći satelit Jupiterovog sistema, ima prečnik od 5276 km. Pored kratera, na njemu se zapažaju i ravnije oblasti uporedljive sa Mjesečevim morima. Oko nekih kratera postoje svijetlije oblasti koje su

"Galileo" utvrdila je da Ganimed ima snažno magnetsko polje jače od polja na površinama Merkura, Venere ili Marsa.

Treći veliki satelit Jupitera, **Europa**, ima prečnik od 3140 km. Čitava površina Europe prekrivena je mrežom pruga tamnije boje. Satelit je omotan ledenom korom koja puca uslijed plimskih efekata. Zbog tog ledenog plašta Evropa posjeduje jednu od najreflektivnijih površina u Sunčevom sistemu. Opažaju i udarni krateri kojih je, istina, znatno manje, nego kod drugih Galilejevih satelita.

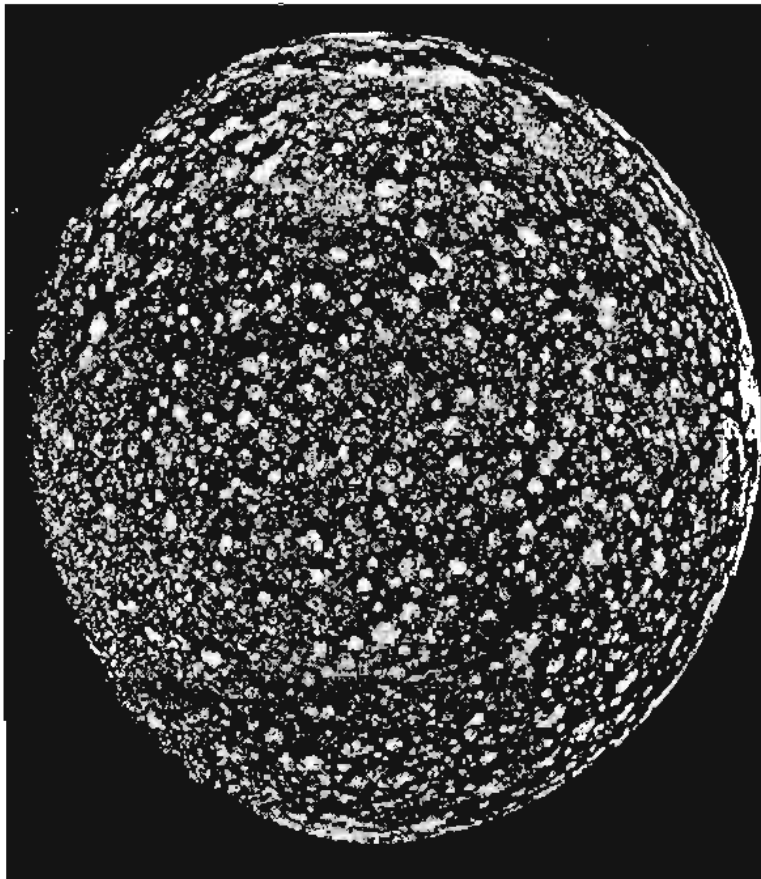
Io, sa prečnikom od 3632 km, posljednji je u nizu velikih Jupiterovih

satelita. Po mnogim osobinama, ovo je jedno od najčudnijih tijela u Sunčevom sistemu. I u sebi sadrži kombinacije snažne vulkanske aktivnosti, neobičnih kemijskih procesa, i jedne veoma

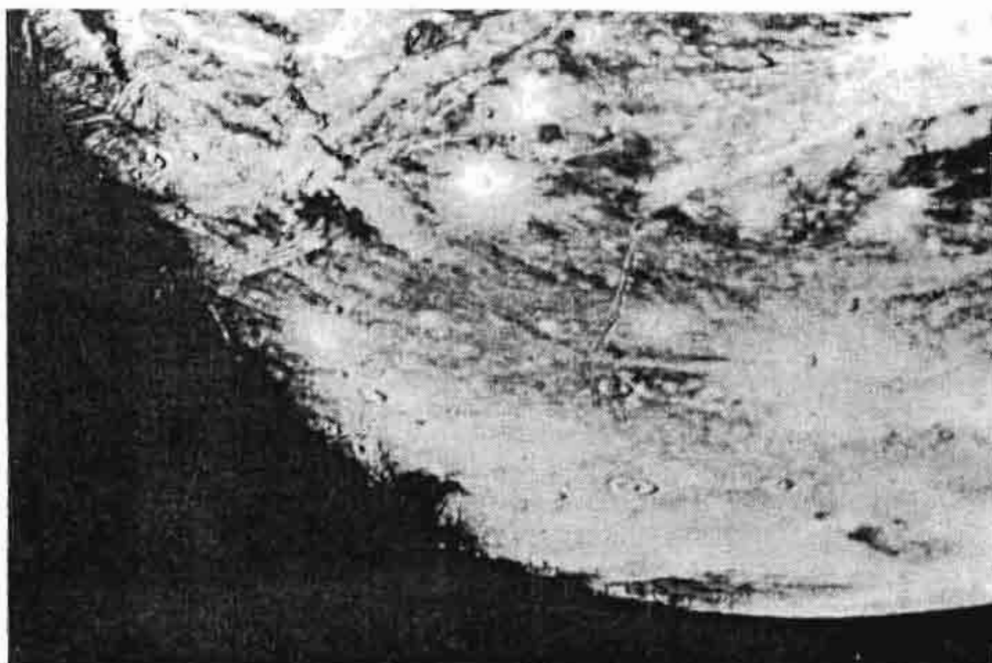
kompleksne interakcije sa magnetosferom Jupitera. Na satelitu dominiraju žuti i narandžasti tonovi. Ovakva obojenja potiču od sumpora. Takođe se primjećuje gotovo potpuno odsustvo



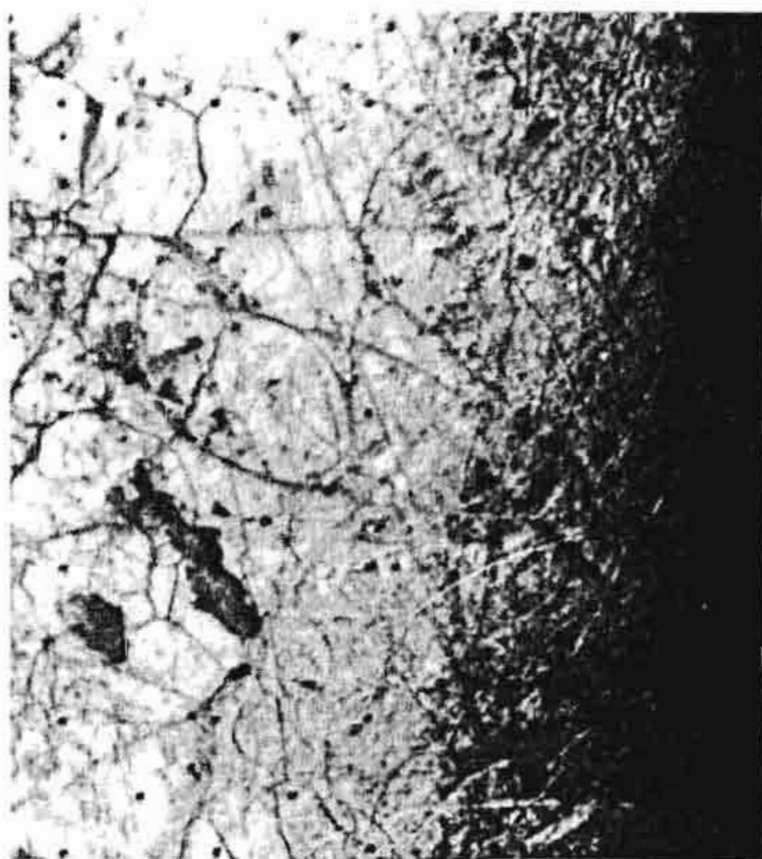
SI.75 Jupiterov satelit Io prelazi ispred vanjskog sloja oblaka.



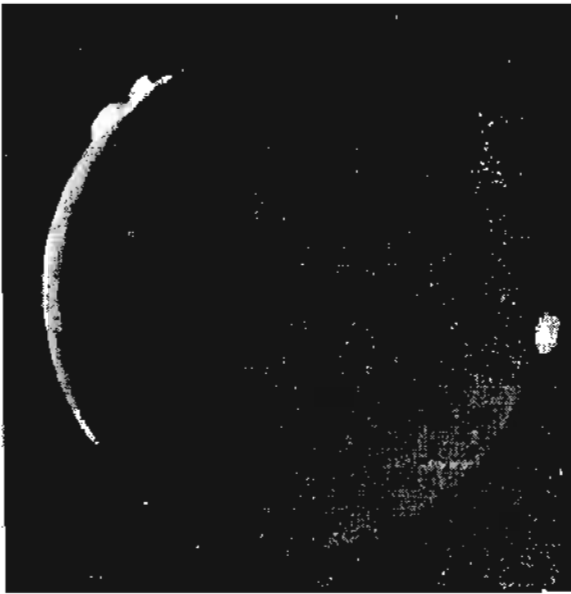
SI.76 Kalisto, satelit sa najviše kratera od svih tijela Sunčevog sistema.



SI.77 Ganimed, najveći Jupiterov satelit, snimljen sa udaljenosti od oko 250 000 km. Vidljiv je veći broj kratera, te neobične "pruge ili ogrebotine" čije porijeklo još nije razjašnjeno.



SI.78 Jupiterov satelit Europa je prekriven mrežom pukotina nastalih pucanjem smrznute vanjske kore.



SI.79 Tri aktivna vulkana na satelitu Io.

udarnih i ostalih kratera. Njegovi pejzaži su manje, više vulkanski. Na snimcima sa visokom rezolucijom, gdje su detalji manji od jednog kilometra, veoma se jasno vide vulkanska grotla i potoci lave. Tokom snimanja iz blizine, opažane su vulkanske erupcije.

Porijeklo unutrašnje energije, koju Io očigledno posjeduje, za sada je još nejasno. Neki proračuni pokazuju da radioaktivnim raspadom nije moguće postići takvu energiju. Predloženi su mehanizmi nastanka te energije koji se baziraju na snažnom uticaju Jupitera. On izaziva plimske pojave, a u igri je i Jupiterova moćna magnetosfera. Plazma, koju izbacuju vulkani je pod uticajem magnetskog polja matične planete. Neka razmatranja ukazuju da bi se takvim mehanizmom moglo generirati i po 600 kilovolti struje, duž prečnika satelita. Takve potencijalne razlike mogle bi dati struje od milion ampera, koje bi, onda, mogle biti uzročnici zagrijavanja unutrašnjosti.

Sistem Jupitera i njegovih satelita podsjeća nas po svemu na neki minijaturni planetski sistem.

Saturn

Po mnogim svojim osobinama, ova planeta je slična Jupiteru. Pripada grupi plinovitih divova, kakvi su Jupiter, Uran i Neptun. Ono što najprije privlači pažnju, pri pogledu na ovu planetu su njegovi prstenovi. Otkrio ih je Galilej, ali mu slaba moć razdvajanja njegovog teleskopa, nije dozvolila da zaključi da se radi o prstenu. Savremeni, čak i veoma mali teleskopi, omogućavaju opažanje Saturnovih prstenova.

Na Saturnu možemo, kao i kod Jupitera, posmatrati samo vanjske slojeve atmosfere i pratiti procese koji se u njima dešavaju. Vodik i helij su najprisutniji elementi. Razna obojenja, koja se uočavaju, potiču od malih količina ugljika, sumpora i fosfora, dok bjeličaste oblasti uzrokuju kapljice amonijaka. Ustanovljeno je da Saturn zrači više toplote nego što je prima od Sunca. Ovo ukazuje na postojanje unutrašnjih izvora energije. Vjetrovi na Saturnu pušu uglavnom u istom smjeru. Pri tome dominira ekvatorski mlaz koji puše od zapada prema istoku sa brzinama od oko 500 ms^{-1} .

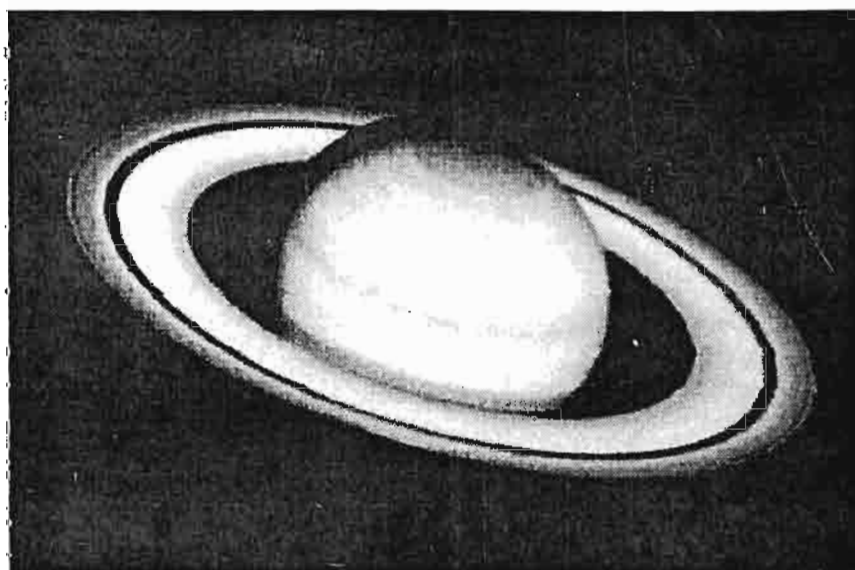
Saturn posjeduje veliku magnetosferu. Njegovo magnetno polje je, za razliku od takvih polja kod Jupitera i Zemlje, tako usmjereno da mu se vlastita magnetska osa podudara sa rotacionom osom.

Tokom klasične ere istraživanja ove planete, ustanovljeno je da se Saturnov prsten sastoji iz tri odvojena dijela. Prsten nazvan A širok je 15 200 km, a sadrži 200 km široku tamnu pukotinu nazvanu **Encke-ova** pukotina. Između prstenova A i B nalazi se poznata **Cassini-jeva** pukotina široka 3500 km. Dugo se smatralo da su ove tamne pukotine, koje razdvajaju

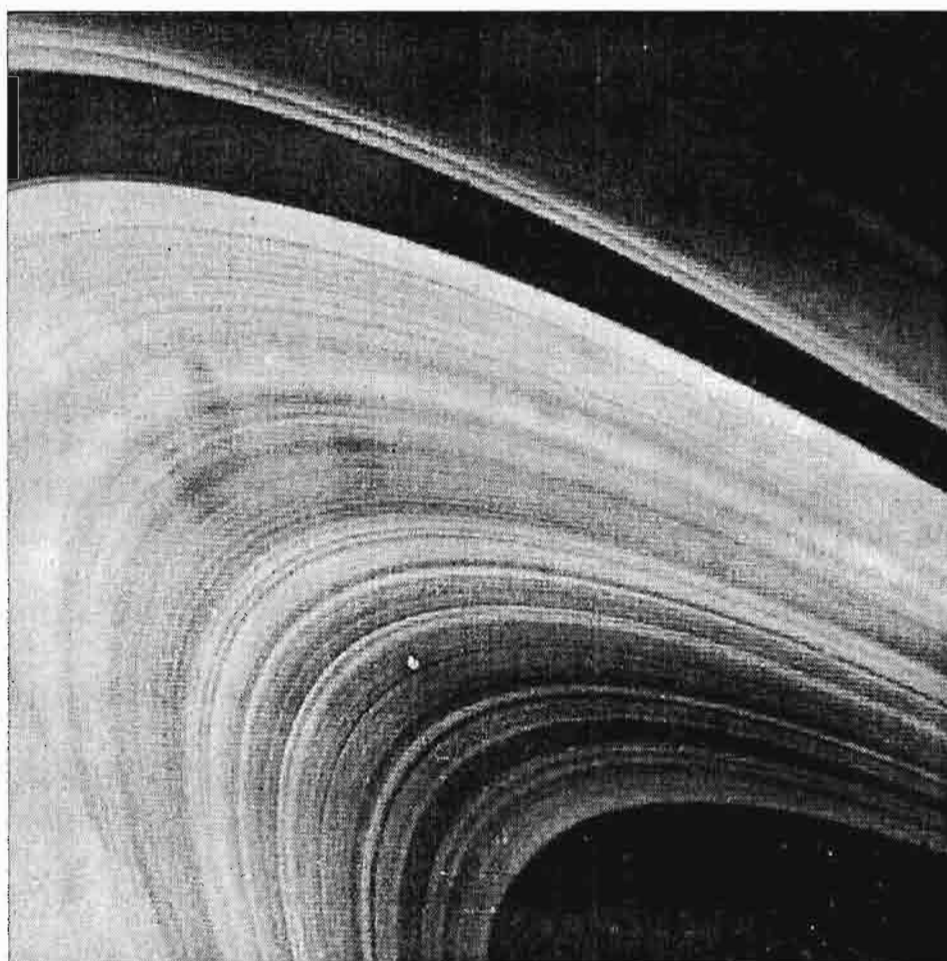
prstenove, mjesta na kojima nema materije. Snimci načinjeni iz blizine pokazali su da postoji ogroman broj pojedinačnih Saturnovih prstenova.

Cassinijeva pukotina takođe sadrži veći broj prstenova, koji su slabog sjaja.

Na B prstenu otkrivene su tamnije mrlje koje se kreću tako da im se



Sl.80 Saturn snimljen pomoću širokougaone planetske kamere Hubble-ovog svemirskog teleskopa.



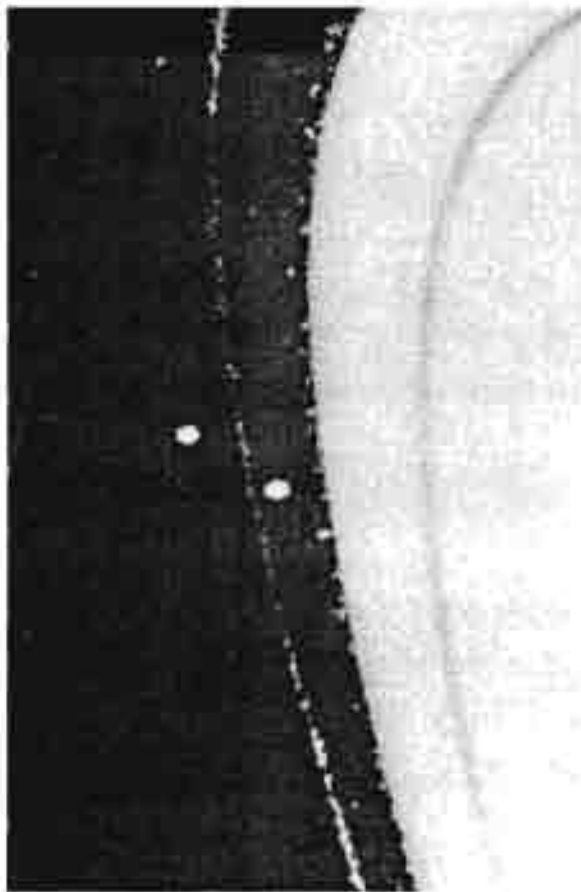
Sl.81 Detalj Saturnovog prstena. Na snimku visoke rezolucije vidi se dio a, prstena B, širine nekoliko tisuća kilometara.

struktura ne narušava. To bi moglo da nas vodi pogrešnom zaključku da prstenovi rotiraju kao čvrsto tijelo. Naime, svaki pojedinačni prsten rotira nekom svojom brzinom. Ovakve mrljaste strukture bi se morale raspasti jer bi se čestice brzo pomiješale sa drugima koje imaju različite brzine. Pretpostavlja se da su ova zatamnjena nekim elektromagnetskim interakcijama vezana za planetu.

Procjene pokazuju da su dimenzije krupnijih "čestica" koje grade prstenove, kreću od desetak, pa do više stotina metara. Uočeno je, takođe, da su prstenovi u gravitacionim vezama sa pojedinim Saturnovim satelitima.

Od 17 do sada poznatih satelita, 5 ih je otkriveno pomoću letjelica "Voy-

ager". Među njima, svojom veličinom, dominira **Titan** sa prečnikom od 5150 km. Poslije Ganimeda, to je jedan od najvećih satelita u Sunčevom sistemu. On je ujedno jedini satelit koji posjeduje pravu atmosferu. Prosječna gustina materijala od koga je građen Titan iznosi 1900 kgm^{-3} . Smatra se da se on sastoji od 50% stjenovitog materijala, 44% mješavine vode i leda, te 6% metana. Atmosfera je uglavnom građena od vodika koga ima 85%. Argona i metana ima 12%, a ostatak od 3% su neke kompleksne organske molekule. Temperatura na površini ovog satelita je 95 K, a pritisak je 1,6 puta viši od prosječnog atmosferskog pritiska na Zemlji. Površinu Titana nije moguće vidjeti zbog jakog "smoga"



Sl.82 Saturnov F prsten "drže" stabilnim svojim gravitacijama dva patuljasta satelita.



Sl.83 Titan snimljen sa noćne strane. Uočava se Suncem osvijetljeni sloj atmosfere

koji je građen najvjerovatnije od organskih molekula poput propana, etilena, acetilena, cijanogena i sl.

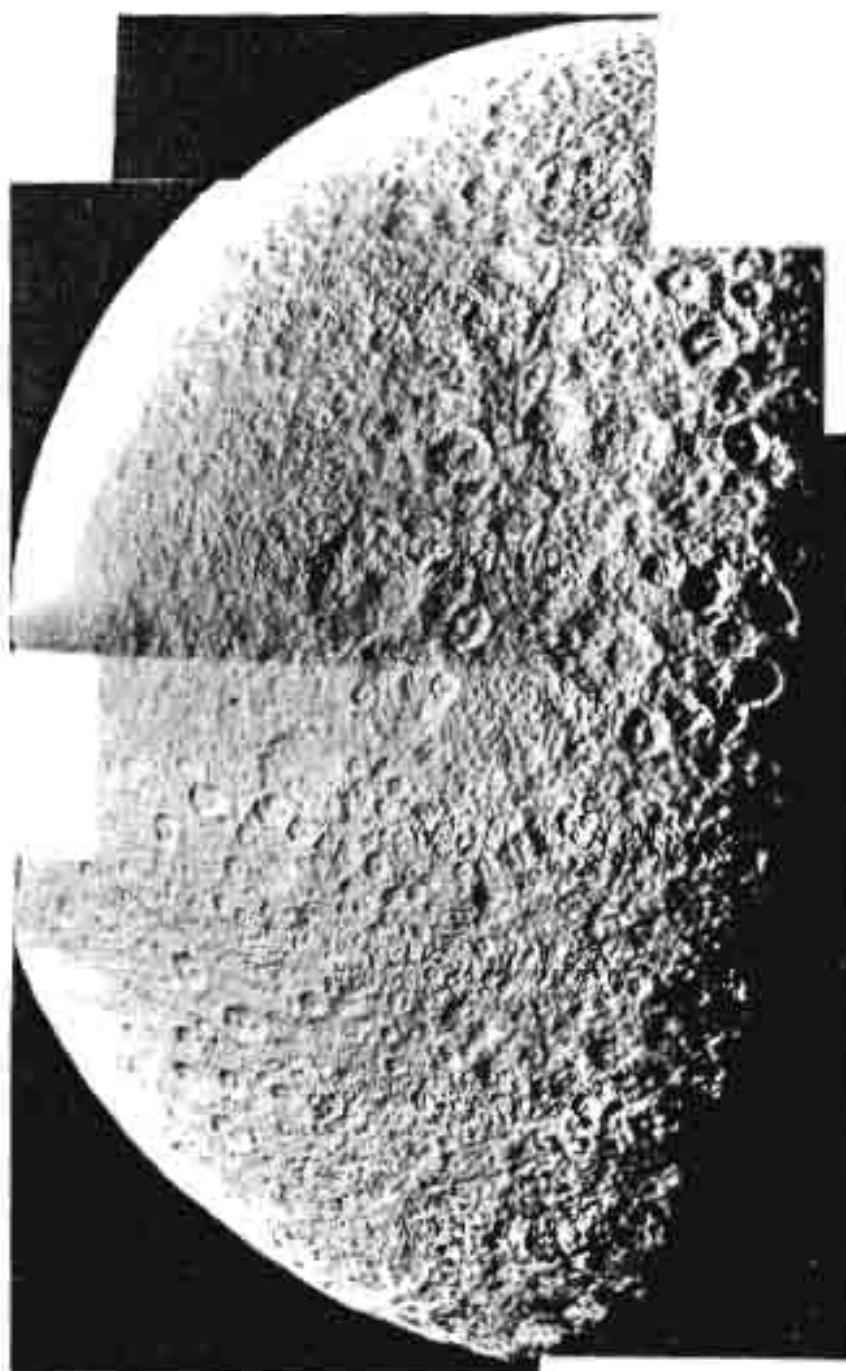
Satelit **Japetus** je veoma neobično tijelo. Još je klasičnim astronomskim posmatranjima utvrđeno da mu se sjaj mijenja. Ovo se moglo objasniti jedino različitim reflektivnim osobinama njegove površine. Snimci koje je

načinio "Voyager", dokazali su ove pretpostavke. Više od polovine površine Japetusa je prekriveno tamnim, gotovo crnim materijalom. Na površini se opaža veliki broj kratera i to ravnomjerno i na tamnoj i na svijetloj strani. Kako je nastao ovaj tamni "premaz", još uvijek nije razjašnjeno. Teško je objasniti kakvim bi procesima moglo doći do ovog "obojenja". Ima

pretpostavki da bi metan, pod utjecajem ultraljubičastog zračenja Sunca, mogao da proizvodi ugljikovodikove spojeve koji su izrazito tamnih boja.

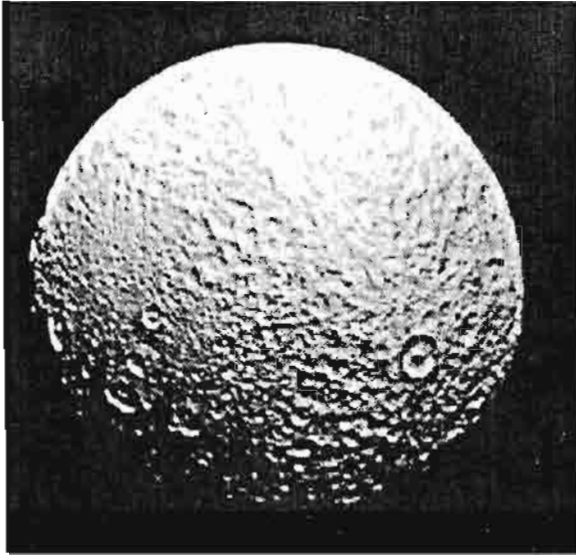
Slijedeći interesantan satelit je **Hiperion** koji ima nepravilan, izdužen oblik. Prekriven je kraterima i liči na asteroid.

Površina satelita **Rea** je takođe je prekrivena ogromnim brojem kratera.



Sl.84 Satelit Rea je u potpunosti prekriven kraterima. Najveći od njih imaju prečnike i do 300 km.

Neki su, očigledno, veoma stari. Na Reu se uočavaju i velike bijele površine koje bi mogle biti neka vrsta "snježnih" nanosa. **Diona** ima nešto manji prečnik od prethodnog satelita i takođe obiluje kraterima. Kao i većina drugih Saturnovih satelita, Diona ima neku



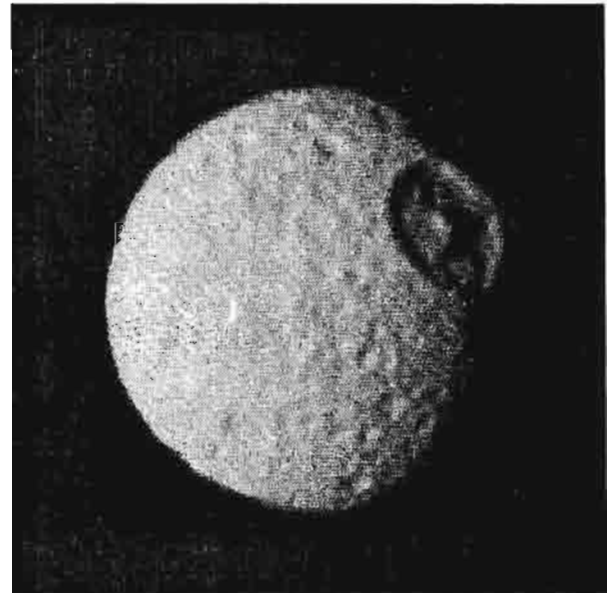
Sl.85 Tetis, Saturnov satelit, snimljen sa udaljenosti od oko 200 000 km. Ogroman broj kratera i pukotina ukazuje na brojne meteoroidske udare, te na procese stezanja spoljašnje kore.

vrstu hemisferske asimetrije. Jedna strana ima veći albedo od druge. Veći, gušće zbijeni krateri, pripadaju ranom periodu udara primordijalnog materijala našeg planetskog sistema. Mlađi tereni sadrže uglavnom kraterne manjih dimenzija. Ovaj satelit je karakterističan i po velikim pukotinama od kojih se najveća, Palatine Chasma, pruža do dužine od gotovo jedne četvrtine prečnika ovog pratioca Saturna.

Satelit **Tetis**, četvrti po veličini u sistemu Saturnovih satelita, ima visok

albedo. Na njemu je dominantan objekat mamutski krater prečnika oko 400 km. Nastao je u pradavna vremena udarom nekog velikog tijela. Tetis posjeduje još jedan impre-sivan geološki oblik. To je pukotina koja se prostire gotovo na tri četvrtine nje-govog obima. Smatra se da je nastala pucanjem vanjske kore satelita, prilikom hla-đenja, tokom njegove rane tektonske historije.

Po najvećem albedu među ovim satelitima, ističe se **Enceladus**. Na njemu uočavamo tri vrste terena. Jedni su prekriveni manjim

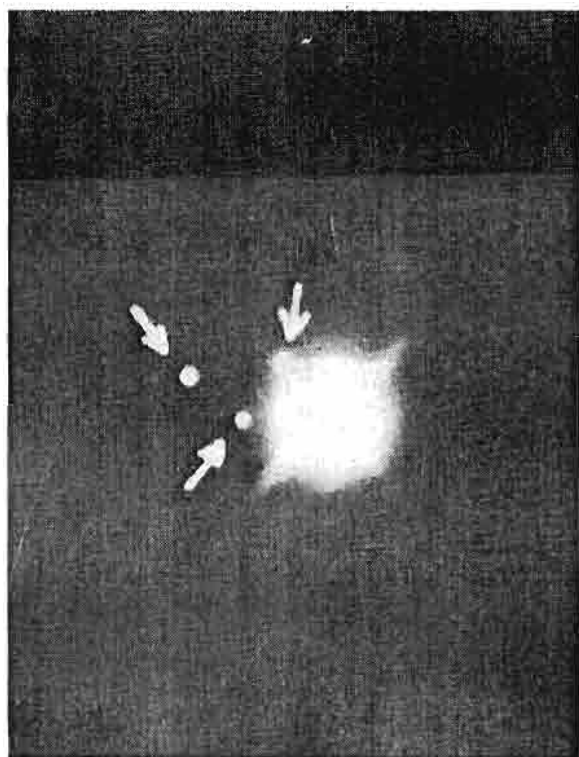


Sl.86 Mimas, sa prečnikom od 390 km upadljiv je po ogromnom krateru nastalom udarom diviovskeg tijela u davnoj prošlosti satelita

brojem kratera, drugi većim brojem, a susreću se ravnice prošarane prugama koje liče na "ogrebotine". Starost tih "izgrebanih" ravnica nije veća od 100 miliona godina, što je prava mladost. S razlogom se pretpostavlja da satelit Enceladus ima veoma aktivan vulkanski sistem poput onog kakvog smo uočili na Jupiterovom vulkanski aktivnom satelitu Io.

Uran

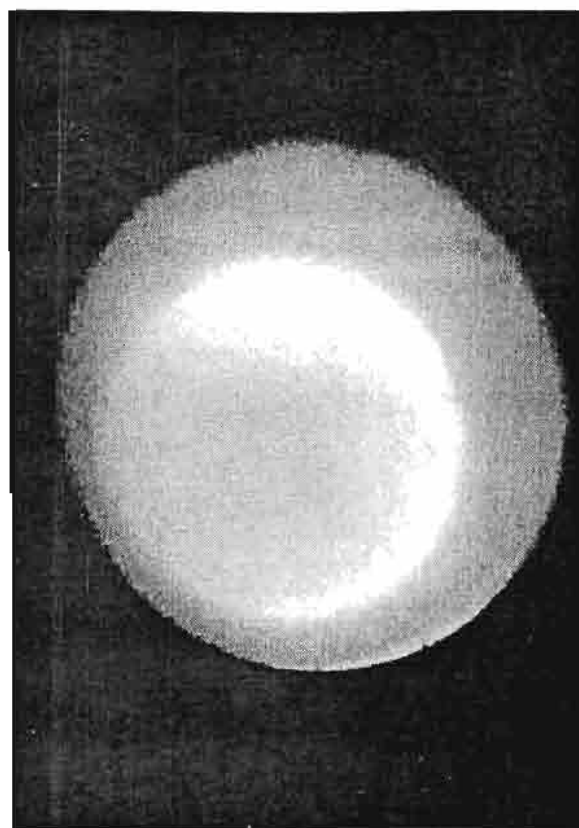
Uran je sedma planeta po redu, idući od Sunca. O ovom plinovitom divu smo za posljednja dva stoljeća od otkrića, saznali veoma malo. Sasvim slučajno ga je otkrio **William Herschel**, veliki engleski astronom. To je bilo 1781. godine. Za jedan obilazak oko Sunca, Uranu je potrebno 84 godine. Osa rotacije ove planete je nagnuta 98° u odnosu na osu ekliptike, što je unikatan slučaj u planetskom sistemu oko Sunca. Razlog ovom nagibu je, pretpostavlja se, udar nekog velikog tijela dimenzija



Sl.87 Uran sa satelitima, snimljen teleskopom opservatorije Lick u USA

Zemlje. Sudar se desio u rano doba historije Urana.

Čak i u najvećim teleskopima, Uran se pojavljuje kao sićušna zelenkasta mrljica. Ova zelenkasta boja potiče od metanske atmosfere koja upija crvena zračenja, a odbija



Sl.88 Uran snimljen letjelicom "Voyager 2" sa udaljenosti od oko 1 milion km.



Sl.89 Dio Uranovog sistema prstenova. Zbog slabog sjaja prstenova, korištena ekspozicija od 96 sekundi. Zbog toga su zvijezde "pomjerene", jer se letjelica "Voyager 2" kretala veoma brzo.

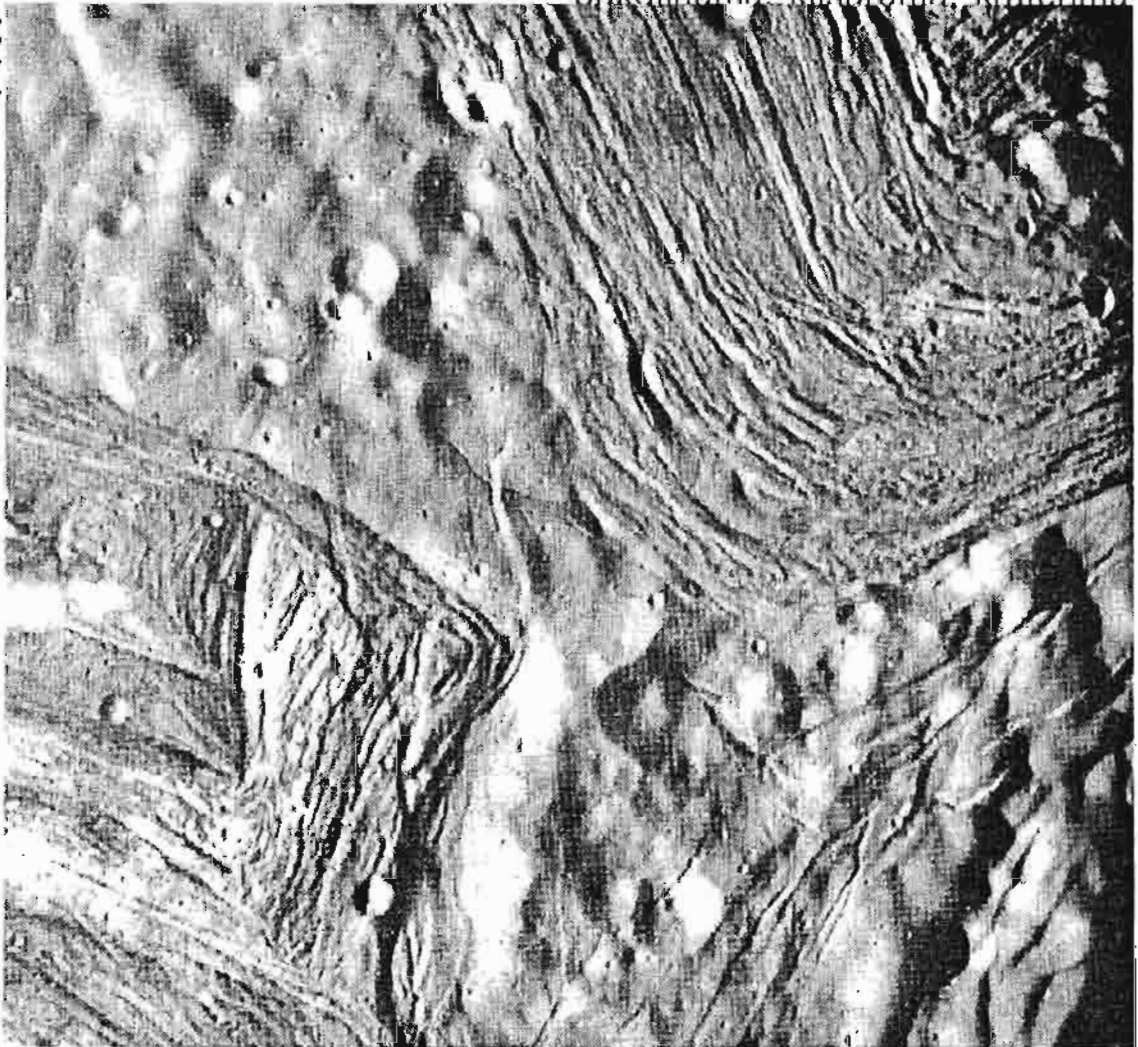
plava. Drugi glavni sastojci atmosfere su vodik i helij.

Oko Urana 1977. godine, otkriven je sistem prstenova. On je sličan Saturnovom sistemu prstenova, ali su oni znatno slabijeg sjaja i gustine. Ovo otkriće je ostvareno tokom okultacije tj. zaklanjanja jedne zvijezde od strane Urana. Prolazak zvijezde iza prstenova doveo je do opadanja njenog sjaja. Pokazalo se da su prstenovi smješteni na visini između 41 380 i 51 600 km. Veoma su tamni, i albedo je nizak i ukazuje da bi mogli biti građeni od ugljene prašine.

Naša saznanja o Uranu i njegovoj porodici satelita, naglo su proširena od 1986. godine kada se ovoj planeti

približila letjelica "Voyager 2". U njegovoj vanjskoj atmosferi nisu zapaženi neki posebni detalji. Ustanovljeno je da vjetrovi pušu u istom smjeru u kome planeta rotira. Taj period rotacije je utvrđen veoma precizno i iznosi 16,8 sati za ekvatorske oblasti. Ustanovljeno je postojanje magnetskog polja čija je osa, u odnosu na osu rotacije, nagnuta za 55°.

Otkriveno je 10 novih satelita, pored onih već ranije otkrivenih. Klasična astronomija je poznavala **Mirandu, Ariela, Umbriela, Titaniu i Oberona**. Najinteresantniji od svih satelita je **Miranda**, koja ima prečnik od 480 km. Ona je imala izuzetno bogatu geološku prošlost i prekrivena je pukotinama, klisurama, kraterima i



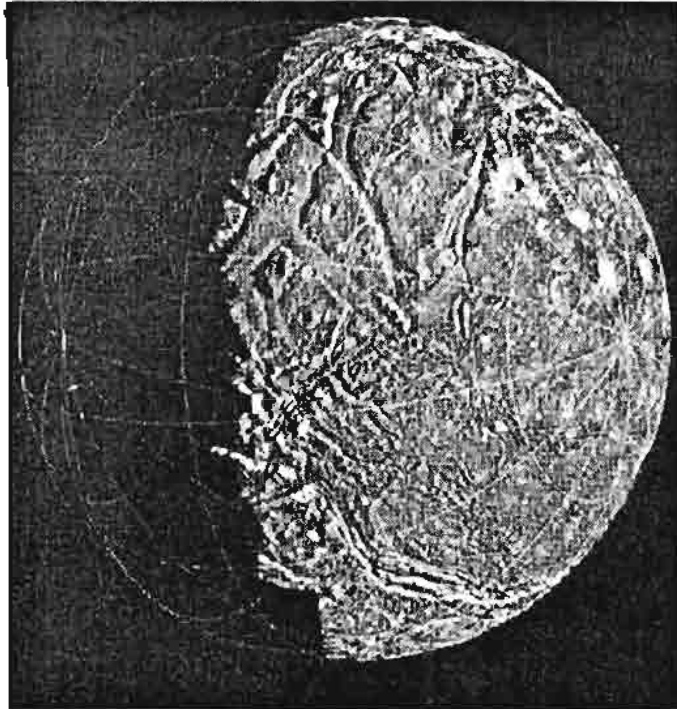
SI.90 Miranda, najmanji od pet velikih Uranovih satelita ima kompleksan reljef.

dolinama. Po-sebno se ističe četvrtasta struktura koja poput zakrpe stoji na Mirandinoj površini.

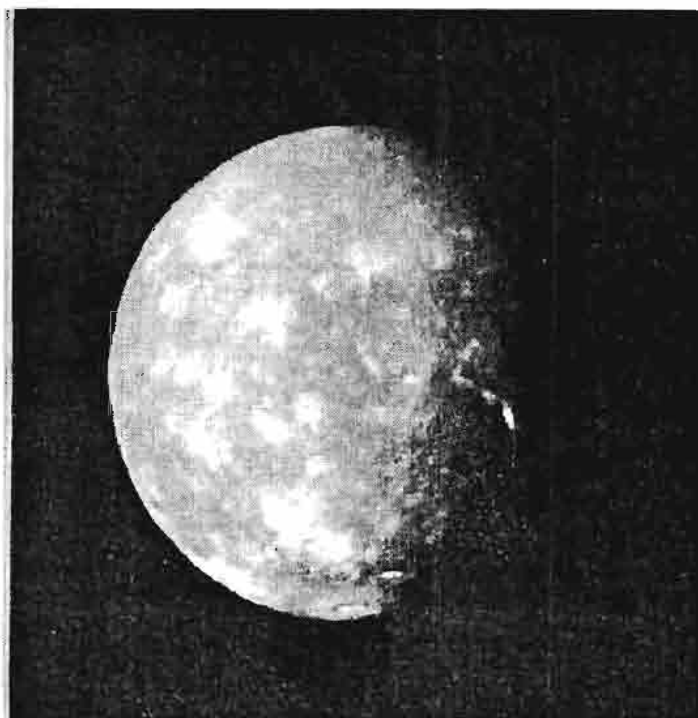
Kod **Ariela** je očigledno prisustvo jake tektonske aktivnosti u prošlosti. O tome svjedoče brojne pukotine i rasjedi. Ovo tijelo, prečnika 1200 km sadrži i dosta kratera. Prečnici im se, u prosjeku, kreću od 5 do 10 km.

Umbriel je najtamniji od svih Uranovih satelita i ima isti prečnik kao i Ariel. Prekriven je sa velikim brojem kratera različitih dimenzija.

Sa prečnikom od 1600 km, **Titania** spada u krupnije satelite. Njena su karakteristika izvjesne geološke aktivnosti u prošlosti i veliki broj udarnih



Sl. 91 Ariel, snimljen sa udaljenosti od 170 000 km



Sl.92 Titania snimljena uređajima letjelice "Voyager".

kratera. Susreću se i kanjoni dugi do 1500 km i široki oko 75 km. Sreću se i udarni krateri prečnika do 300 km. I kod **Oberona** se uočavaju krateri, a na rubu diska satelita otkrivena je planina visoka oko 6 km.

Neptun

Tačni proračuni Uranove putanje provedeni su još početkom prošlog stoljeća. Oni su pokazali da postoje izvjesna odstupanja od utvrđene staze,



Sl.93 Naptun i njegov satelit Triton na snimku načinjenom teleskopom Lick opservatorije u USA.

a to se moglo objasniti samo gravitacionim uticajem nekog drugog, masivnog tijela. Francuski astronom **Le Verrier** 1846. godine, izveo je proračun za putanju neke hipotetične planete koja bi mogla izazvati opažene proračune u kretanju Urana. Na osnovu njegovih podataka, njemački astronom **Johan Galle** je prve večeri, kada je dobio podatke, pronašao novu planetu. Neptun je tada bio samo 1 daleko od predviđenog položaja. Engleski matematičar **Adams** je, neovisno od Le Verrier-a, takođe izveo tačne proračune. Nažalost, **Challis**, tada kraljevski astronom na Greenwich-u, nije ozbiljno uzeo molbu mladog i nepoznatog Adamsa. Usput, interesantno je napomenuti, da se Neptun nalazi ucrtan kao zvijezda na jednom od Galilejevih crteža Jupitera i njegovih satelita.

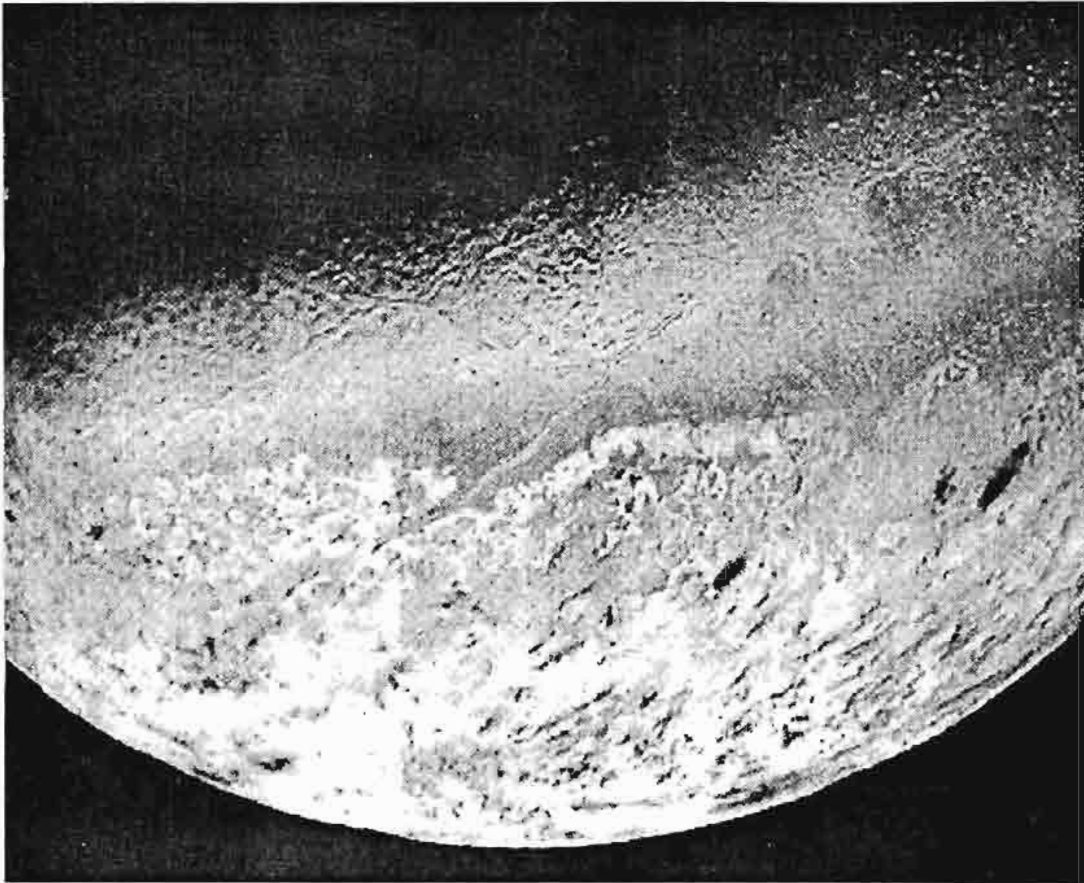
O Neptunu se prije dolaska letjelice "Voyager 2" znalo veoma malo. Za jedan obilazak oko Sunca njemu treba 146 godina, pa tako od trenutka otkrića još nije napravio jedan puni obilazak. Znalo se da ima dva satelita nazvana



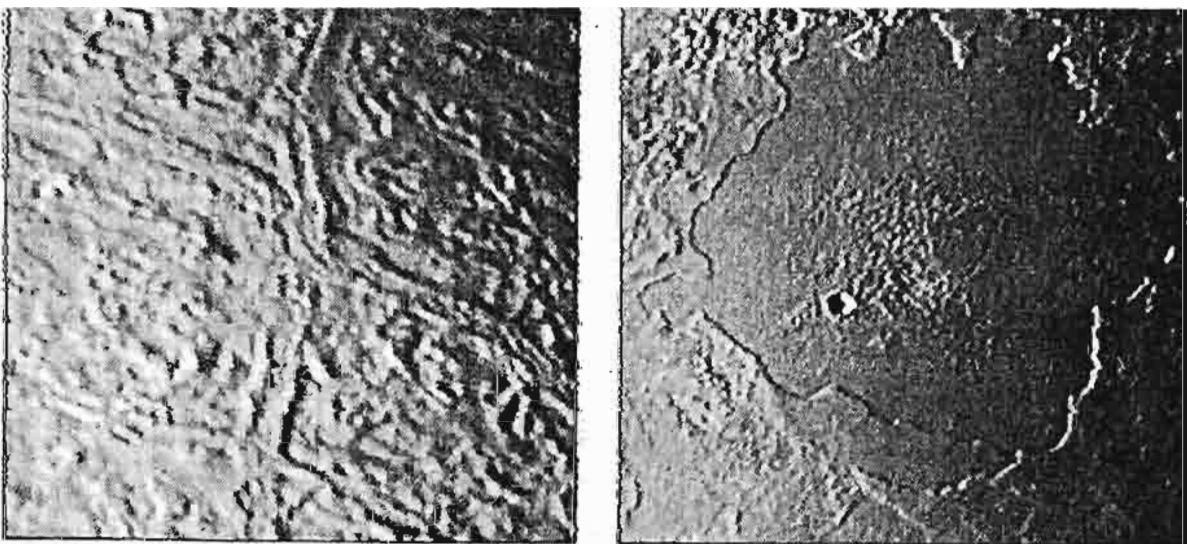
Sl.94 Dio planete Neptun sa Velikom tamnom pjegom snimljen kamerama "Voyagera" sa razdaljine od oko 6 miliona km.

Triton i Nereida. Tritona je otkrio **W.Lassell** svega 17 dana nakon otkrića same planete. Drugi, manji satelit, otkrio je **Gerard Kuiper** 1949. godine. Tokom jedne okultacije 1984. godine,

otkriveni su prstenovi oko Neptuna. 1989. godine, letjelica "Voyager 2" se susrela sa planetom Neptun i njegovim satelitima. Na Zemlju je tada poslan veliki broj snimaka.



SI.95 Triton, veliki Neptunov satelit, snimljen letjelicom "Voyager 2".



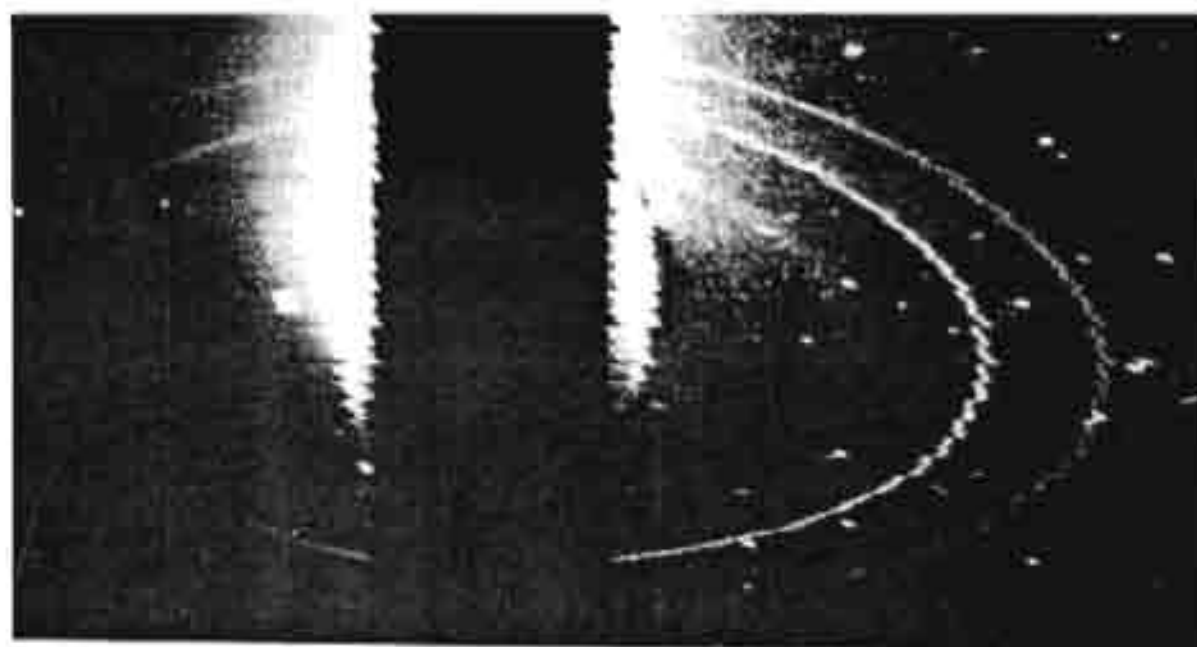
SI.96 Predjeli na Neptunovom satelitu Tritonu. Na lijevoj fotografiji primjećuju se dva rasjeda ispunjena ledom. Desno je bazen prečnika 200 km.

Pokazalo se da na plavičastom disku Neptuna dominira **Velika tamna pjega** koja po svemu, osim po boji, podsjeća na Veliku crvenu pjegu na Jupiteru. Sudeći po podacima i snimcima, radi se o spiralnom strujanju materije, suprotno kretanju kazaljke na satu. Pjega je okružena visokim metanskim oblacima, sličnim cirusima u našoj atmosferi.

Na disku Neptuna zapažaju se veoma tanki metanski cirusi. Dižu se do visine od 50 km iznad glavnog sloja oblaka u gustoj atmosferi ove planete. Opaženi su vjetrovi koji pušu suprot-

unutrašnji izvor polja pomjeren za nekih 10 000 km od centra planete. Magnetska osa je pri tome nagnuta je za ugao od oko 50° u odnosu na osu rotacije ove planete.

Pored već pomenutih satelita, tokom misije letjelice "Voyager 2", otkriveno je još 6 novih pratilaca Neptuna. Najveći od satelita, **Triton**, po mnogo čemu je jedinstven satelit u Sunčevom sistemu. Za 5,9 dana on obiđe oko Neptuna krećući se suprotno od smjera rotacije planete. Sa prečnikom od 2720 km, on se ubraja među najveće satelite.



Sl.97 Neptunovi prstenovi. Tamna traka je umjetna prepreka kojom je pri snimanju zaklonjen sjajni disk Neptuna kako bi se smanjio njegov bljesak i kako bi se mogli snimiti prstenovi slabog sjaja.

no smjeru rotacije Neptuna i dostižu brzine do 1200 km^h⁻¹. Ekvatorske oblasti obave jednu rotaciju za 16 sati i 3 minuta. Utvrđeno je i postojanje magnetskog polja, vrlo specifičnog oblika. Naime, jedna strana planete ima polje koje je 20 puta jače od onog na suprotnoj strani. To znači da je

Već površan pogled na Triton pokazuje da postoji razlika u reflektivnosti njegove dvije hemisfere. Južna polukugla, sa polarnom kapom, je izuzetno sjajna. Ona je tokom Tritonovih godišnjih doba oko 100 godina okrenuta ka Suncu. Polarna kapa je pomalo ružičasta i najvjerovatnije

građena od mješavine dušičnog i metanskog leda. To su naslage preostale iz prethodne zime i koje polako isparavaju. U oblasti ekvatora zapaža se plavičasti pojas sa svježim nanosima "snijega". Ovo sugerije na moguće sniježne padavine na Tritonu.

Na sjevernoj, hladnijoj polukugli, zapažaju se tamne oblasti i mrlje. Iza nekih kratera uočljive su tamne sjene i uzvišenja koja liče na nanose pijeska kakve na Marsu prave vjetrovi. To bi značilo da postoje atmosferska strujanja uglavnom metanskog sastava.

Međutim, atmosfera Tritona koju je registrovao "Voyager 2", ne može da bude uzročnik strujanja jer je njen pritisak desetak miliona puta manji od pritiska na Zemlji. To znači da je taj materijal morao na neki način biti izbačen iz unutrašnjosti putem aktivnih ledenih vulkana. Oni bi poput gejzira izbacivali materijal van, a mehanizam koji ih "pokreće" bio bi povezan sa unutrašnjim grijanjem Tritona. Unutrašnja energija Tritona prema ovim pretpostavkama izazvana je plimskim silama. Pretpostavlja se, naime, da je on "uhvaćen" u prošlosti gravitacionom silom planete Neptun.

Postepeno pretvaranje prvobitne ekcentrične orbite satelita u kružnu orbitu, koje još traje, proizvodi plimska dejstva duboko u unutrašnjosti satelita Tritona.

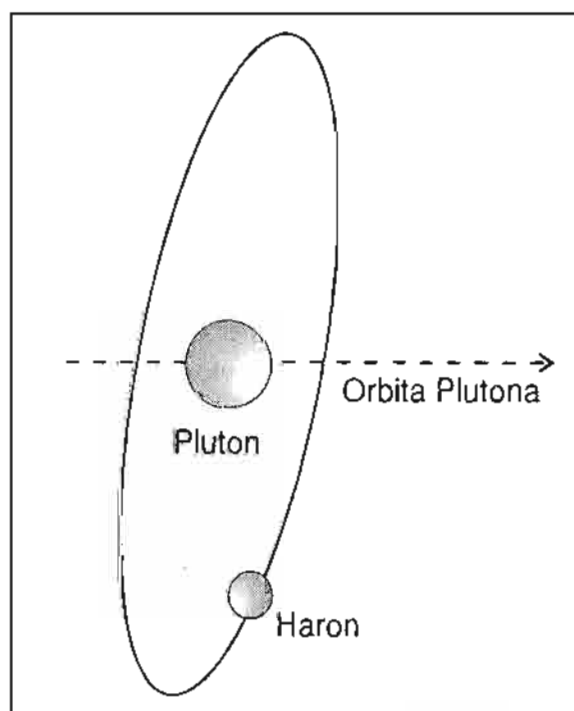
Što se tiče Neptunovih prstenova, oni su veoma slabog sjaja. Najveći dio materijala je u vanjskom prstenu. Satelit **Nereida** nije bio u povoljnom položaju tokom prolaska letjelice, pa se samo zapaža da je elipsoidnog oblika. Ostali Neptunovi sateliti su veoma malih dimenzija.

Pluton

Najudaljenija do sada poznata planeta Sunčevog sistema, Pluton, otkrivena je tek 1930. godine. Američki astronom **Clyde Tombaugh** je proveo tisuće sati ispitujući fotografske ploče pomoću jednog uređaja nazvanog blink-komparator. To je instrument kojim



Sl.98 Pluton na snimku načinjenom palomarskim teleskopom (Hale Observatories).



Sl.99. Sistem Pluton-Haron. Orbita Harona je nagnuta za gotovo 90 u odnosu na ravan Plutonove orbite oko Sunca.

se upoređuju dvije fotografske ploče iste oblasti neba, snimljene u različito vrijeme. Ukoliko se na jednoj od snimljenih ploča neki od objekata pomjeri, poveća sjaj ili se pojavi nova svijetla tačkica, to se lako registrira na ovom uređaju. Tomabaugh je radio u okviru programa koji je postavio njegov kolega **Percival Lowell**.

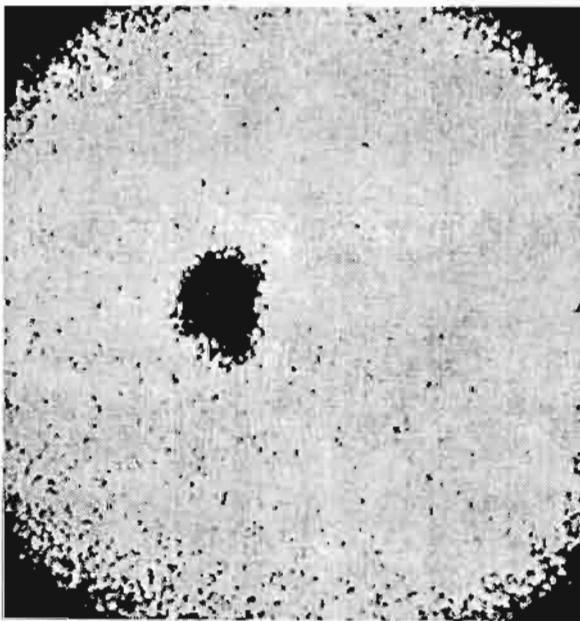
Iako nije doživio otkriće Plutona, a ovom projektu je posvetio dobar dio svog života, on je bio idejni tvorac potrage za devetom planetom. U trenutku otkrića, Pluton se nalazio u blizini zvijezde delta u sazviježđu Blizanaca.

Poslije velikih plinovitih planeta, Pluton djeluje kao stranac u tom nizu. U odnosu na planete divove, njegove dimenzije su male. Obzirom na veliku udaljenost od Sunca, za jedan obilazak oko središnjeg tijela planetskog sistema treba mu 248 godina.

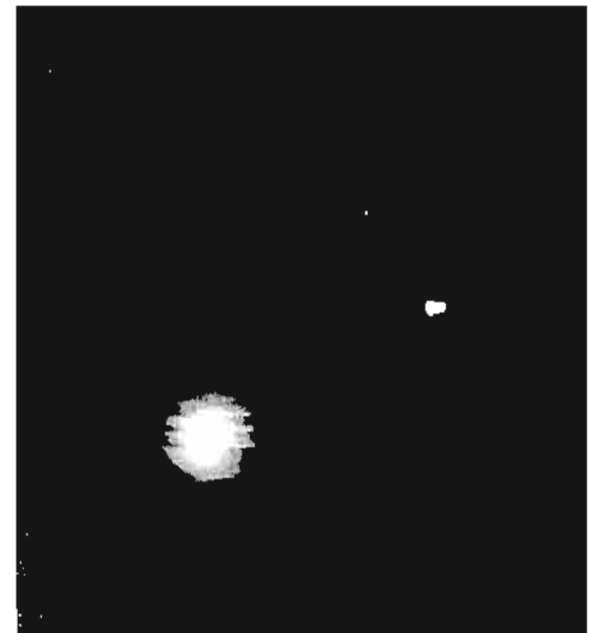
Prve konkretnije podatke o ovoj planeti dobili smo poslije 1978. godine. Tada je, sasvim slučajno, otkriven njegov satelit **Haron**. Do ovog otkrića se došlo pažljivim ispitivanjem fotografskih ploča koje su snimane za potrebe astrometrije. Opaženo je ispupčenje na mrlji koja predstavlja lik ove planete koje se periodično gubilo i pojavljivalo, a to je bio siguran dokaz da postoji satelit koji kruži oko njega.

Na osnovu snimaka koje je načinio Hubble-ov teleskop utvrđeno je da je prečnik Plutona 2320 km, a Harona 1270 km. Masa Harona je približno osam puta manja od mase matične planete. Haron se kreće eliptičnom orbitom čija je velika poluosa dužine 19 700 km, a period obilaska mu iznosi 6,4 dana.

Pluton i Haron su stražari na krajnjim granicama Sunčevog Sistema, ako isključimo komete.



SI.100 Haron, satelit Plutona. On se na snimku vidi kao ispupčenje na crnom disku Plutona (negativ fotografija)



SI.101. Pluton i Haron snimljeni Hubble-ovim svemirskim teleskopom širokougaonom planetskom kamerom

MJESEC

Osnovni podaci

Po svojim razmjerima, ovaj jedini Zemljin prirodni satelit, spada među najkrupnije pratioce u našem planetskom sistemu. Njegova putanja oko naše planete je elipsa sa malim ekscentricitetom koja se u razmjerima knjige može predstavljati kružnicom. Srednja udaljenost Mjeseca od Zemlje iznosi 384 000 km, a shodno tome, njegov ugaoni dijametar se kreće oko 31'.

Udaljenost Mjesec - Zemlja određena je pomoću geocentrične paralakse. Ako se Mjesec posmatra, istovremeno, iz dvije tačke na Zemlji koje su dovoljno daleko jedna od druge, lako se može primjetiti da se on, u odnosu na zvijezde, neće nalaziti na istom mjestu. **Geocentrična paralaksa** je ustvari kut pod kojim posmatrač sa Mjeseca vidi poluprečnik Zemlje. (Slika 102).

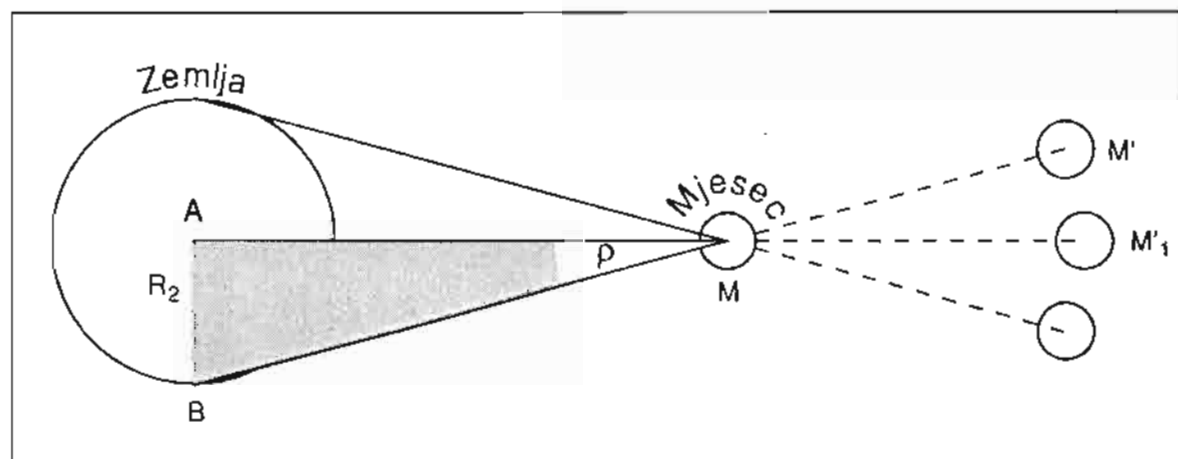
U novije vrijeme, ova udaljenost se može mjeriti i na druge načine. Dovoljno je uputiti radarski signal koji se nakon odbijanja vraća u prijemnu

stanicu. Proteklo vrijeme se pomnoži sa brzinom svjetlosti i podijeli sa dva. Takođe, još preciznije se to uradilo slanjem laserskog zraka koji se odbijao o ogledalo koje su američki astronauti ostavili na površini Mjeseca. Tačnost mjerenja u ovom slučaju iznosila je svega nekoliko centimetara. Poluprečnik Mjeseca iznosi 3476 km, a njegova masa je 81 puta manja od mase Zemlje. Prosječna gustina našeg satelita se kreće oko 3340 kgm^{-3} .

Mjesec, krećući se po nebu, svakodnevno mijenja svoj izgled. Ta vanjska promjena manifestira se u veličini **mijene (faze)** tj. odnosa osvijetljenog i zatamnjenog dijela njegovog prividnog diska. Veličinu mijene ili jednostavno mijenu(fazu) Mjeseca definiramo po slici 104 kao:

$$P = \frac{TL}{AL}$$

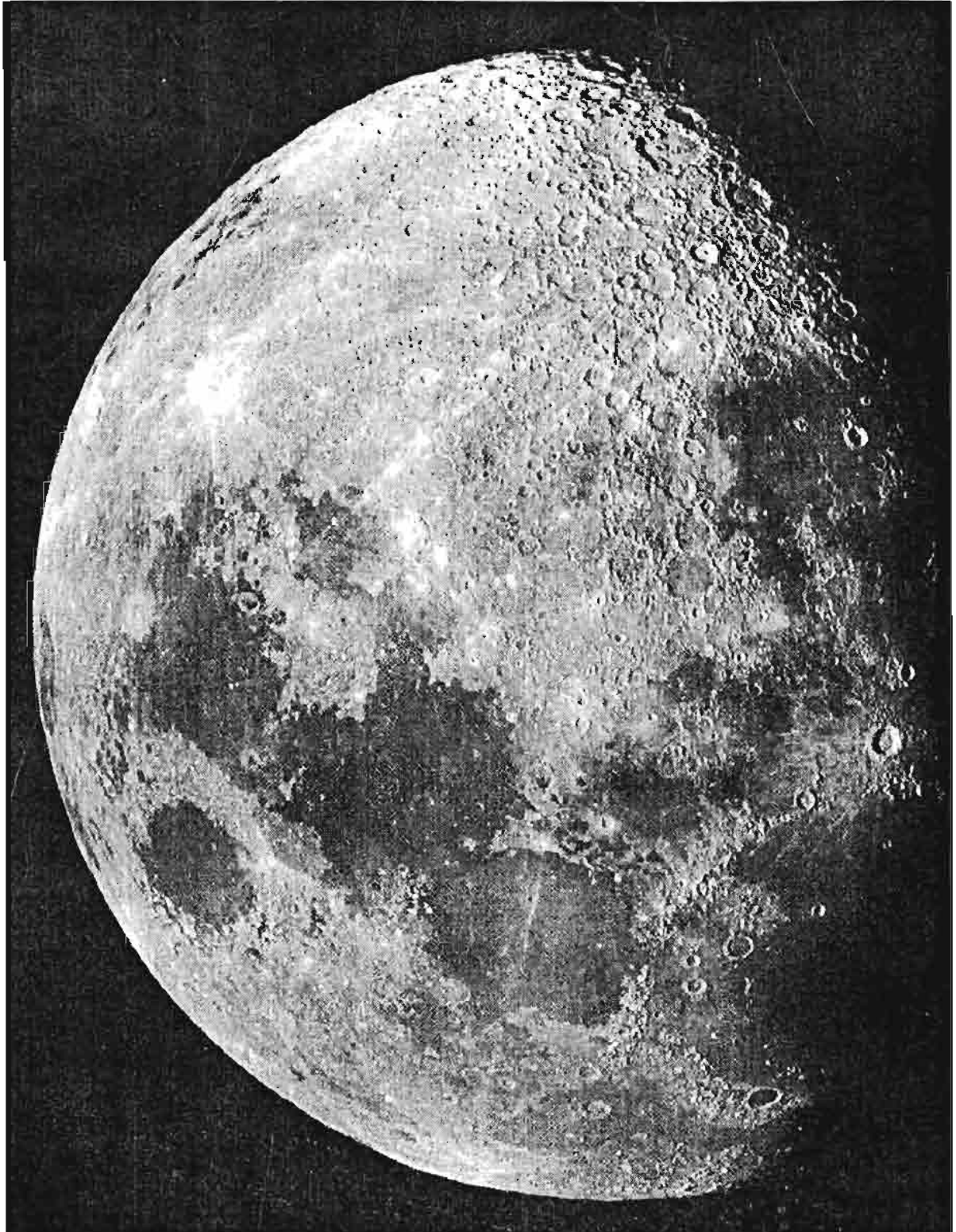
gdje je TL dužina osvijetljenog odredka mjerena duž prečnika Mjeseca, a AL prečnik Mjeseca. U vrijeme **Mladog mjeseca** mijena P je jednaka nuli. U **Prvoj četvrti** ona iznosi 0,5, u vrijeme **Punog mjeseca** jednaka je jedinici, a u fazi **Posljednje četvrti** opet je 0,5.



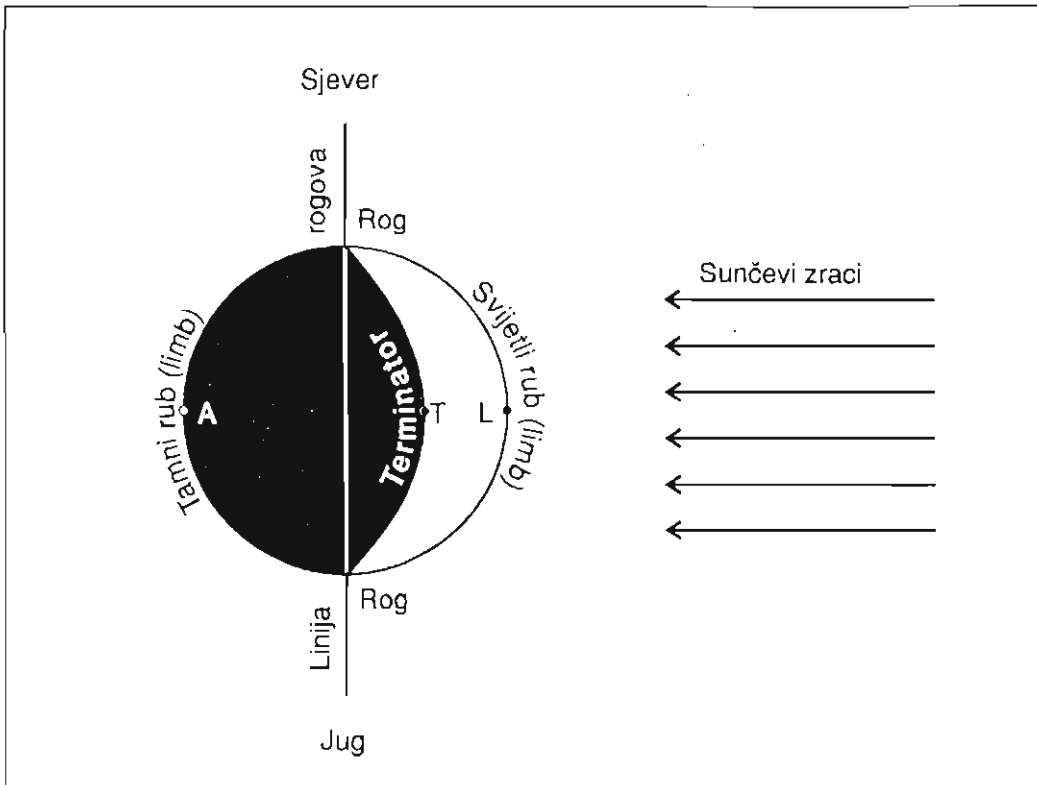
Sl. 102 Geocentrična paralaksa. Na slici su: M = Mjesec, M' = projekcija Mjeseca na nebu, gledana iz tačke B , M'_{1} = projekcija Mjeseca gledano iz tačke A , p = geocentrična paralaksa.

Najranija teleskopska pos-matranja pokazala su da nam Mjesec uvijek okreće jednu te istu stranu. To znači da je period njegove rotacije jednak periodu njegove revolucije (tj. periodu njegovog obilaska oko Zemlje). Osa

rotacije našeg satelita je, u odnosu na osu ekliptike, nagnuta za $1^{\circ}32'$. Zato se nebeski pol, za pos-matrača na Mjesecu, ne nalazi kao kod nas u blizini Sjevernjače, već negdje u sazvijeđu Zmaja. To što nam Mjesec okreće



Sl. 103 Mjesec star 9 dana. Snimak opservatorije Lick, USA. Veliki krater na desnom rubu je Kopernik.



Sl. 104 Crtež Mjeseca sa osnovnim tačkama i linijama vezanim za pojam mijena ili faza.

samo jednu stranu, ne znači da možemo posmatrati samo 50% njegove površine. Zahvaljujući pojavi **Mjesečevih libracija**, u određenim periodima, mogu se vidjeti i neki dijelovi nevidljive strane Zemljinog susjeda. Postoji nekoliko vrsta libracija i one se razlikuju po uzrocima svog nastanka. **Širinska ili latitudinalna libracija** se javlja zbog kretanja Mjeseca oko Zemlje. Njegova osa, pri tome, ostaje uvijek paralelna samoj sebi, tako da se nekada mogu vidjeti dijelovi oko južnog ili sjevernog Mjesečevog pola. **Longitudinalna ili dužinska libracija** se dešava usljed toga što je Mjesečeva rotacija strogo pravilna, dok je revolucija, prema Keplerovim zakonima, neravnomjerna.

Ukoliko mjerimo vrijeme proteklo između dvije uzastopne mijene Mjeseca, saznaćemo da vremenski

razmak između tih pojava iznosi 29,530 588 dana ili 29 dana, 12 sati, 44 minuta i 2,8 sekundi. To je **sinodički mjesec**. Mjesečeva siderička revolucija, tj. vrijeme proteklo između dva uzastopna položaja Mjeseca u odnosu na istu zvijezdu, iznosi 27,321 661 dana ili 27 dana, 7 sati, 43 minuta i 11,5 sekundi. Ovaj period predstavlja **siderički mjesec**. Do ove razlike između sinodičkog i sideričkog mjeseca dolazi zbog toga što Mjesecu treba oko 2 dana da se postavi u isti položaj u odnosu na Sunce, jer on slijedi Zemlju koja se za to vrijeme pomjerila na svojoj putanji. On treba da je "stigne".

Sunčeva svjetlost, odbijena od Zemlje, može da osvjetljava Mjesec isto kao što on obasjava nas. Ta pojava je poznata kao **"pepeljasta svjetlost"**. Ona se veoma jasno zapaža kada je Mjesec u obliku srpa.

Naš svemirski pratilac je, u potpunosti, lišen atmosfere. Prilikom okultacija Mjeseca sa zvijezdama i planetama nikada nisu zabilježeni nikakvi efekti koji bi ukazivali na postojanje atmosfere. Brzina odvajanja, koja je potrebna da neko tijelo napusti mjesečevo gravitaciono polje, iznosi $2,4 \text{ km s}^{-1}$. Zbog tako male brzine, atomi i molekuli bi, ako su nekada i postojali, brzo napustili Mjesec jer bi njihove sopstvene brzine bile veće od ove kritične.

Površina Mjeseca i njene karakteristike

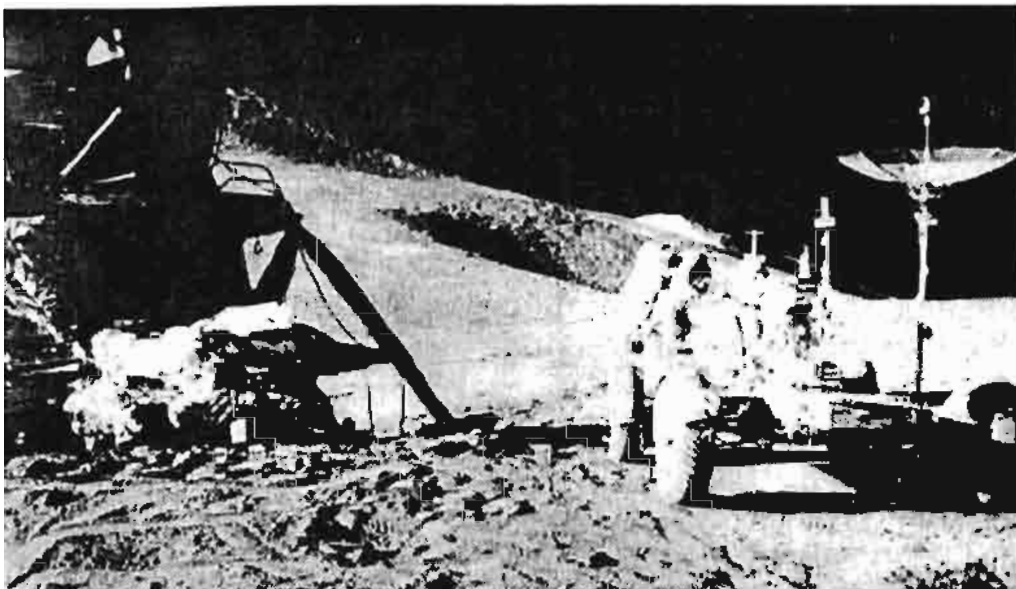
Golim okom na Mjesecu zapažamo samo velike tamne površine. Ove tamne mrlje, raznih oblika, posmatrači iz prošlih stoljeća prozvali su morima. Nazivi kao More kiša, More vedrine, Okean oluja i drugi, zadržali su se do danas. **Mjesečeva mora** su velike, ravnije površine. Kada se gledaju teleskopima, tada se zapaža da su prekrivena malim kraterima i pukotinama.

Ono što na Mjesecu privlači posebnu pažnju su njegovi **krateri**. Ove prstenaste strukture imaju

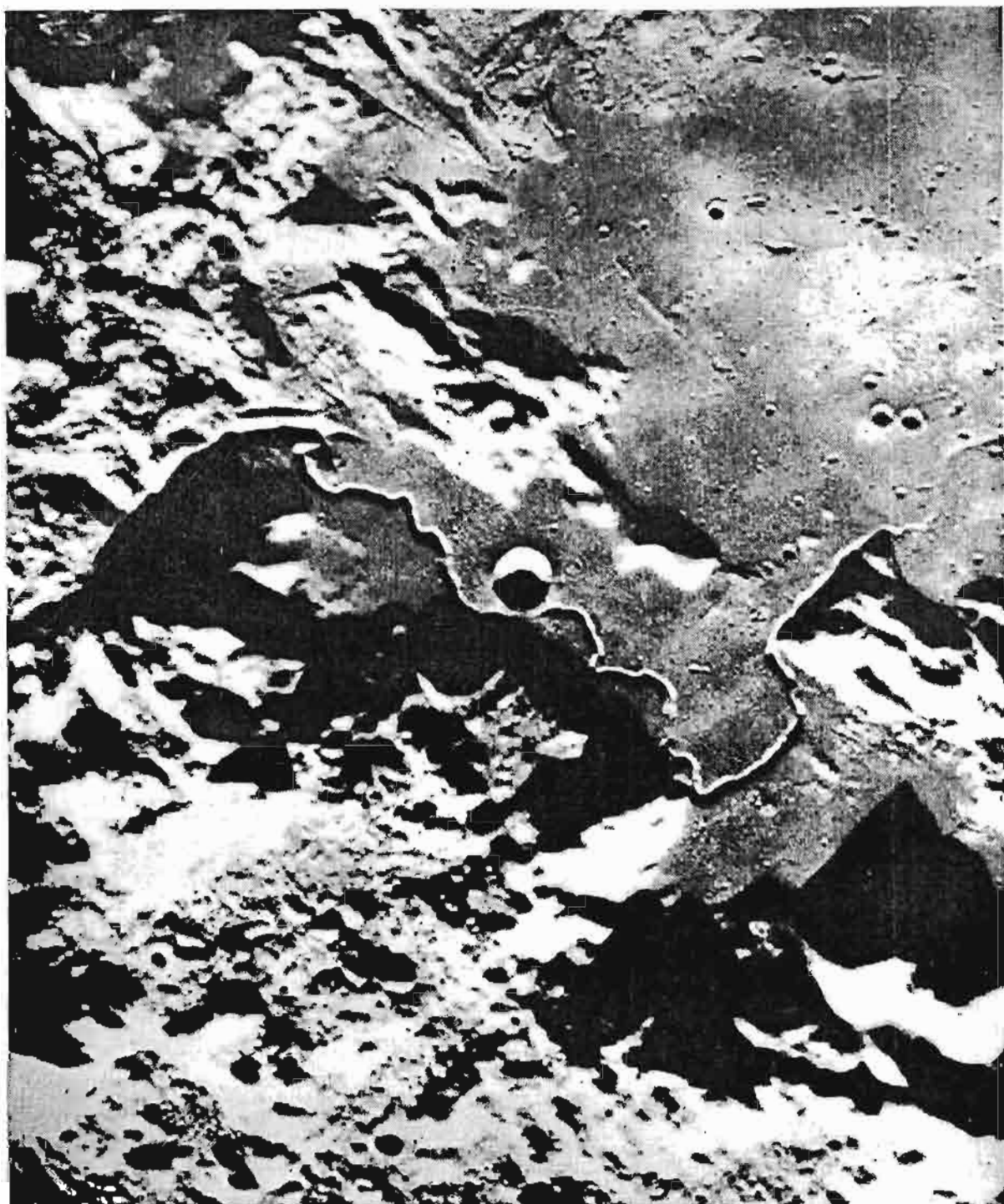
najrazličitije prečnike, a kod nekih se sreću dijometri i više od 200 km. Za neke kratere je karakteristično postojanje stepenastih terasa koje se postepeno spuštaju ka dnu. Drugi se, opet, ističu po jednom ili više brežuljaka u samom središtu. Zidovi kratera su različitih visina, a postoje stari krateri sa gotovo savršenim zidovima.

Za vrijeme Punog mjeseca, mogu se primjetiti veoma duge **svijetle pruge** koje se zrakasto pružaju iz pojedinih kratera. Pri tome dostižu veoma velike dužine. Po tome se naročito ističu krateri Tiho i Kopernik. Priroda ovih svijetlih zraka nije dovoljno poznata, ali je nesumnjivo da one imaju vezu sa kraterima iz kojih se pružaju.

Pitanje nastanka kratera povezuje se danas sa činjenicom da gotovo sva čvrsta tijela Sunčevog sistema, koja su lišena atmosfere, posjeduju ove strukture. Očigledno, ni Mjesec ne može biti izuzetak, pa se zato i njegovi krateri povezuju prije svega sa udarima primordijalnog materijala u toku rane povijesti našeg planetarnog sistema. Postoje i indicije da je manji



Sl. 105 Astronauti "Apolla 15" sa Mjesečevim vozilom (roverom)



Sl. 106 Krater Hadley na snimku koji su načinili astronauti broda "Apollo 15".

dio kratera mogao nastati i vulkanskim procesima koji takođe pripadaju davnoj prošlosti našeg prirodnog satelita.

Mjesec se obično opisuje kao negostoljubiv i, po spoljnoj aktivnosti, mrtav svijet. Međutim, neka posmatranja koja je vršio sovjetski astronom Kozirev, pokazala su postojanje nekih

promjena koje su mogle biti vulkanskog karaktera u krateru Alfons. Postoje još neka posmatranja, istina nedovoljno pouzdana, o promjenama na izvjesnim tačkama Mjeseca koje bi ukazivale na neku vrstu aktivnosti.

Posljednjih nekoliko decenija, Mjesec je uspješno istraživao uz pomoć automatskih stanica i misija sa



Sl.107 Krater Aristarh, njegov susjed Herodotus i dolina Schroter. Fotografija dobijena tokom odvijanja projekta "Apollo".

ljudskom posadom. Počelo je sa sovjetskom letjelicom "**Luna 2**" koja je 1959. godine udarila u More kiša. Nešto kasnije, "**Luna 3**" je poslala prve snimke druge, nevidljive, strane Mjeseca. Američke letjelice iz serije "**Ranger**" su takođe prikupile ogroman broj snimaka i drugih podataka o našem satelitu. One su udarale o njegovo tlo, ali su bile aktivne sve do posljednje sekunde.

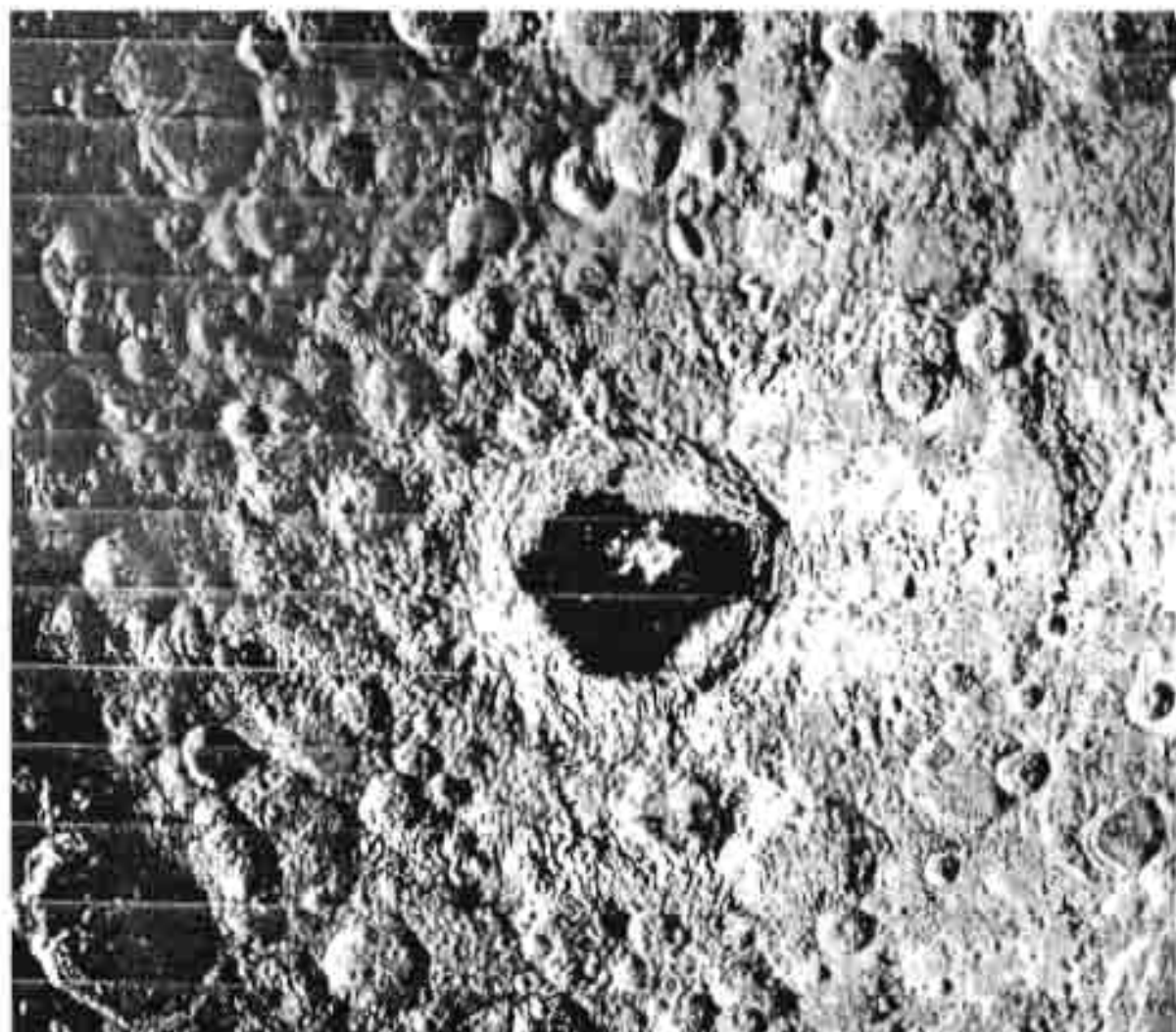
Prvo meko spuštanje na Mjesec obavila je sovjetska stanica "**Luna 9**". Kasnije su američke letjelice iz serije "**Surveyor**", te orbitirajući sateliti tipa "**Lunar Orbiter**", pripremili teren za spuštanje prvih ljudi na tle jednog drugog svijeta. Nakon povijesnog

obilaska oko Mjeseca i povratka na Zemlju broda "**Apollo 8**", 21.jula 1969. godine, astronauti **Armstrong** i **Aldrin** izašli su iz lunarnog modula direktno na površinu Mjeseca u okviru misije "**Apollo 11**". Njihov kolega, **Collins** ih je za to vrijeme čekao na orbiti. Astronauti iz ove i nekoliko narednih ekspedicija, uzeli su brojne uzorke tla, postavili raznovrsne uređaje, te doprinijeli našem mnogo boljem upoznavanju sa ovim svemirskim susjedom.

U drugoj polovini sedamdesetih godina, prestala su intenzivna istraživanja Mjeseca. Naredne ekspedicije planiraju se tek za početak slijedećeg stoljeća.



Sl. 108 Astronaut J.B. Ervin ("Apollo 15") obavlja eksperimente na površini Mjeseca. (Fotografija NASA)



Sl. 109 Predio na nevidljivoj, drugoj strani Mjeseca. Veliki krater sa tamnim dnom je Ciolkovski.

SUNCE

Među milijardama zvijezda Mlječnog puta, Sunce se ne ističe nekom posebnosti. Ono je obična zvijezda udaljena od središta galaksije oko 32 000 svjetlosnih godina. To je ujedno i središnje tijelo našeg planetskog sistema i nama najbliža zvijezda. Zbog svega toga, istraživanje Sunca ima veliki značaj u astronomiji. Kao izvor toplote i svjetlosti, ono je još od davnina postalo predmetom obožavanja. Sunčeva božanstva srećemo kod svih starih civilizacija, a ostaci tih drevnih kultova mogu se, u modificiranom obliku, sresti u mnogim religijama.

Osnovni podaci o Suncu

Rastojanje Sunca od Zemlje, najjednostavnije se može naći pomoću paralakse neke planete ili asteroida. Po definiciji, paralaksa Sunca je ugao pod kojim se iz središta Sunca vidi Zemljin radius. Taj ugao iznosi 8,8". Poznavajući veličinu radiusa Zemlje nije teško, pomoću trigonometrije, doći do vrijednosti za udaljenost Zemlja - Sunce. Proračun nam kaže da ta razdaljina iznosi 149 597 870 km. Ova veličina je ujedno astronomska jedinica. Uglovni prečnik Sunca se kreće oko 32', a istinski prečnik mu je približno 1 390 000 km.

Masa Sunca je ogromna i iznosi $2 \cdot 10^{30}$ kg. Gustina ovog tijela je četiri puta manja od gustine Zemlje. Da bi mogli određivati ukupnu količinu energije koju zrači Sunce, astronomi su uveli tzv. **sunčevu ili solarnu konstantu**. To je ona količina energije koju prima površina jednog kvadratnog metra, za jednu minutu na daljini od jedne astronomske jedinice. Solarna konstanta se može mjeriti na razne načine, a postoje i posebni uređaji koji

se nazivaju piranometri i pirheliometri. Mjerenja pokazuju da sunčeva konstanta ima vrijednost od $1,37 \text{ kWm}^{-2}$.

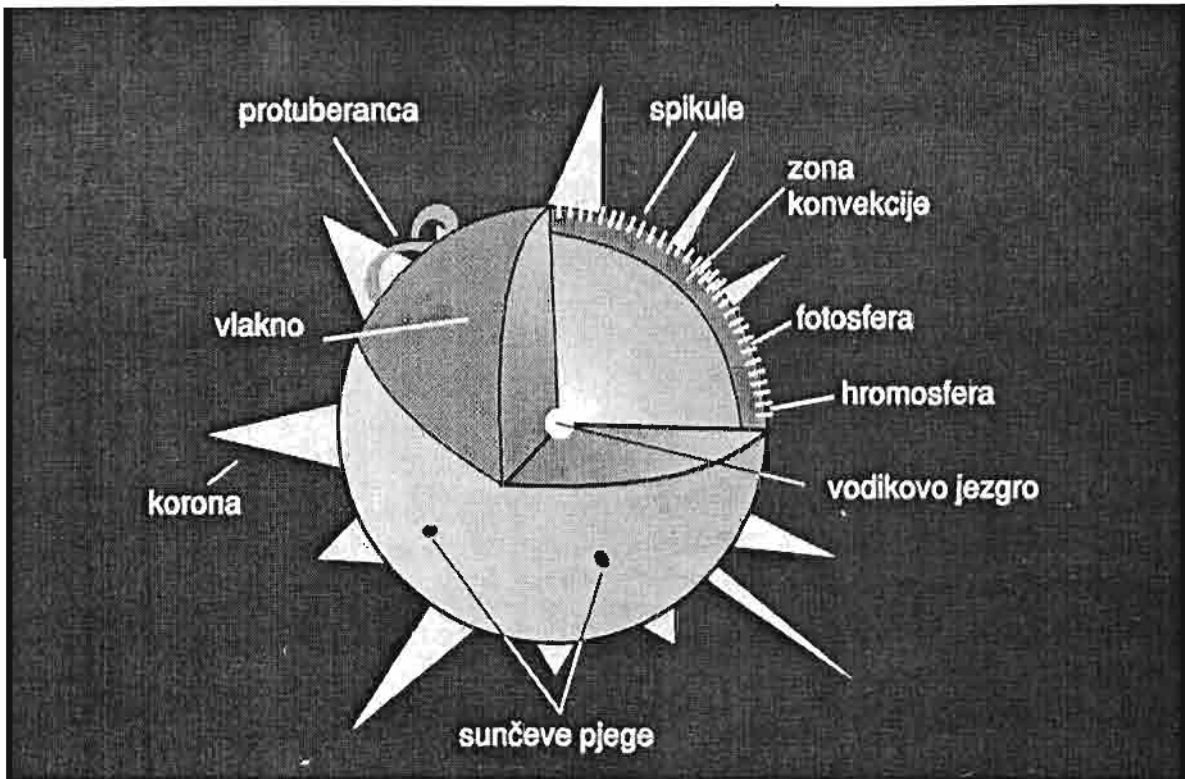
Građa Sunca

Sunce ima složenu građu. Mi možemo da opažamo samo dio te njegove slojevite strukture i da pri tome uočimo najrazličitije pojave. Na slici 110 prikazana je osnovna shema građe Sunca.

Gledano teleskopom (naravno, uz mjere predostrožnosti) Sunce se pokazuje u vidu sjajnog diska sa nešto tamnijim rubovima. Ta vidljiva površina Sunca naziva se **fotosfera**. Tu se ne radi o nekoj čvrstoj površini jer je Sunce u plinovitom stanju. To je, u stvari, sloj ispod koga prestaje prozračnost spoljašnjih dijelova Sunca. Neprekidni spektar Sunca potiče upravo od fotosfere, a tamne apsorpcione linije, na fonu ovog neprekidnog spektra, nastaju saglasno Kirchhoffovom zakonu.

Pomoću većih teleskopa, lako se zapaža da fotosfera ima zrnastu strukturu i da se ta **zrna ili granule**, neprestano rađaju i nestaju. Diametri im se kreću oko 1000 km. Vrijeme nastanka i iščezavanja granula, obično nije duže od 5 minuta. Tu se, u stvari, radi o neprekidnom strujanju toplih i hladnijih slojeva plina.

Poznato je da se na Suncu povremeno opažaju **pjege** koje predstavljaju jedan od osnovnih spoljašnjih vidova njegove aktivnosti. One imaju nešto nižu temperaturu od svoje okoline. Inače, srednja vrijednost temperature fotosfere je oko 6000° C . Pjega zato i izgledaju tamnije jer su za $1000^\circ - 1500^\circ \text{ C}$ niže temperature od fotosfere. Moguće ih je opaziti i najmanjim instrumentom, a neki puta



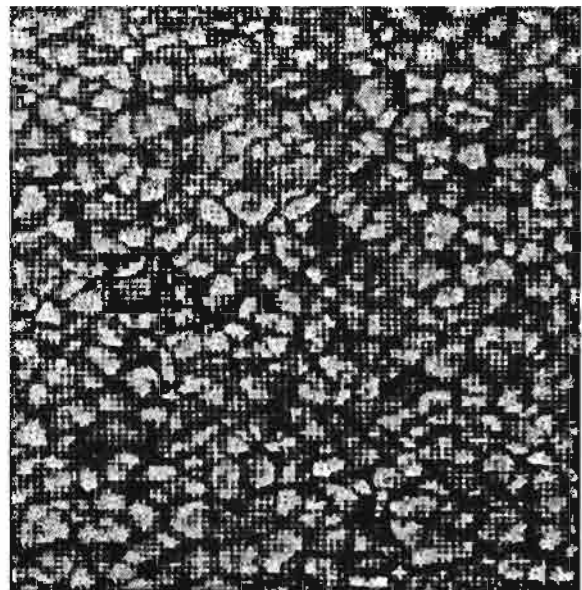
Sl. 110 Shema građe atmosfere i unutrašnjosti Sunca

su krupnije pjege vidljive i golim okom. Tada ih lako vidimo pri izlasku ili zalasku Sunca, kada je njegova svjetlost znatno oslabljena. Stoga se podaci o opažanju pjega nalaze i u kineskim hronikama.

Pjege se pojavljuju u različitim oblicima. U principu, kod većih, možemo razlikovati tamni centralni dio koji se naziva sjenka ili umbra (lat.). Oko nje je raspoređen svjetliji dio nazvan polusjenka ili penumbra. Dijametri pjega se kreću od 1000 do 100 000 km. Pojavljuju se usamljene, ili, što je češći slučaj, u grupama. Dužina života pojedinih pjega kreće se od nekoliko sati, pa do nekoliko mjeseci. Pjege se obično pojavljuju na heliografskim širinama većim od 35°, a gotovo ih nikada nema iznad 40° južne i sjeverne širine.

Posmatrajući pjege, vrlo lako se možemo uvjeriti da Sunce rotira. Pokazalo se da ta brzina rotacije

opada od ekvatora ka polovima što nam jasno ukazuje da se Sunce ne vrti kao čvrsto tijelo. U ekvatorskim zonama, brzina Sunca je takva da njihova rotacija traje oko 25 dana. Rotacija polarnih zona određena je pomoću Doppler-ovog efekta jer se tamo pjege ne pojavljuju. Tu je vrijeme



Sl. 111 Sunčeve granule snimljene teleskopom solarne opservatorije na Kanarskim otocima

za koje slojevi obave jednu rotaciju oko 34 dana.

Periodičnost pojavljivanja pjega otkrio je **Heinrich Schwabe**, 1843. godine. On je ustanovio da se u periodu od oko 11 godina, završi jedan ciklus koji se sastoji od jednog maksimuma i jednog minimuma. U vrijeme minimuma, na površini Sunca, pjega gotovo i nema. Na početku svakog novog ciklusa najveći dio pjega je raspoređen između heliografskih širina od 20° - 30°. U toku napredovanja ciklusa, oblasti gdje se rađaju pjege, postepeno se pomjeraju ka ekvatoru. Švajcarski astronom, **Rudolf Wolf** je za mjerenje broja pjega uveo brojni odnos (**Wolf-ov broj**) koji glasi:

$$R = k (f + 10g)$$

gdje su:

R = Wolfov broj

f = ukupan broj pjega

g = ukupan broj grupa pjega

k = konstanta koja zavisi od metoda posmatranja i vrste instrumenta i posebno se određuje za svakog posmatrača.

Ciklusi sunčeve aktivnosti nisu uvijek istog intenziteta, što se može vidjeti na osnovu grafika načinjenog za period od 250 godina (sl.113).

Ciklusi sunčeve aktivnosti se manje više ponavljaju u pravilnim razmacima, ali su visine maksimuma ili minimuma, različite. Postoji i jedno interesantno odstupanje. Iako su se tada već vršila posmatranja Sunca, u periodu između 1650. i 1715.godine, pjege se gotovo uopšte nisu vidjele. Taj period poznat je kao **Maunderov minimum**. U Evropi je tada vladalo mini ledeno

doba sa izuzetno niskim temperaturama. Opravdano se smatra da je slaba aktivnost Sunca bila uzrok klimatskim promjenama.

Mnoge opservatorije u svijetu prate sunčevu aktivnost i određuju Wolfov broj. Opservatorija u Zurich-u je centar za prikupljanje tih podataka i organizator međunarodne službe Sunca.

Američki astronom **G.E.Hale** je 1908. godine opazio da su pjege povezane sa snažnim magnetnim poljima. To je ustanovljeno tako što je uočeno da su linije u spektrima pjega rascijepljene na dvije ili tri komponente. Prema poznatom zakonu iz fizike (**Zeeman-ov efekat**), to ne znači ništa drugo već da je izvor svjetlosti, u ovom slučaju pjega, smješten unutar magnetnog polja. Pored toga što su linije rascijepljene, svjetlost koja potiče od pjega je u izvjesnom postotku polarizirana. To je takođe efekat koga proizvode magnetna polja. Kod pjega koje su smještene na rubu sunčevog diska, moguće je opaziti tri ravno polarizirane komponente spektralne linije. Istovremeno, pjege koje su u momentu posmatranja smještene u blizini središta diska Sunca, imaju linije rascijepljene na dvije komponente. Ovo nam ukazuje na to da su magnetna polja pjega usmjerena normalno na površinu Sunca. Jačina magnetkih polja može se odrediti mjerenjem veličine razmaka između rascijepljenih dijelova spektralne linije. Kod velikih pjega jačina polja iznosi 2000 do 4000 gausa. Takođe je moguće odrediti polaritet, tj. ustanoviti da li nam je pjega okrenuta svojim južnim ili sjevernim polom.

Pokazalo se da postoje različite orijentacije pjega u ovom smislu. Kod



Sl. 112 Fotosfera sa granulama i pjegama. Snimak je načinjen u augustu 1975. godine dvostrukim fotosferskim teleskopom opservatorije Hvar. Snimili J.Sykora i J.Konška, astronomi sa opservatorije Ondrejov u Češkoj

Zakovitosti koje uzrokuju pojavu sunčevih pjega, nisu još uvijek poznate. Postoje razne teorije o tome. U svakom slučaju, magnetne pojave su najpresudnije za formiranje pjega.

U blizini pjega često možemo opaziti sjajne površine nepravilnog oblika i velikih površina. One na neki način predstavljaju podlogu aktivnih oblasti na kojima se rađaju pjege. Nazivamo ih **fakule**. Najbolje se uočavaju na rubovima sunčevog diska koji su tamniji, pa je kontrast u bijeloj svjetlosti najveći. Fakule koje nazivamo fotosferskim, nalaze se u višim slojevima fotosfere. One traju obično i tri puta duže od pjega koje su nastale u tim oblastima. Posebno dobro se ove fakule uočavaju u nekoj od spektralnih linija kalcija. Postoje i kromosferske fakule koje pak opažamo najlakše u crvenoj liniji vodika (H alfa) ili u linijama ioniziranog kalcija.

Sunčeve **protuberance** ili **prominencije** su pojava koja posebno plijeni pažnju posmatrača, kada je Sunce u pitanju. Nekada ih je bilo moguće posmatrati samo tokom rijetkih totalnih pomračenja Sunca. Kada je otkriveno da one intenzivno zrače u H-alfa liniji, onda je postavljanjem spektralnih uređaja tangencijalno uz rub sunčevog diska, postalo moguće posmatrati ove pojave i svakodnevno.

Protuberance možemo u opštem smislu podijeliti na mirne (stacionarne) i aktivne. Stacionarne protuberance liče na oblake koji plove iznad hromosfere. One mogu da žive i po više mjeseci. Do pojave aktivnih protuberanci dolazi kada magnetno polje u kome "pliva" materija koja ih gradi, postane nestabilno. Tada dolazi do naglog izbacivanja materije brzinama od po više stotina kms^{-1} . Tempera-

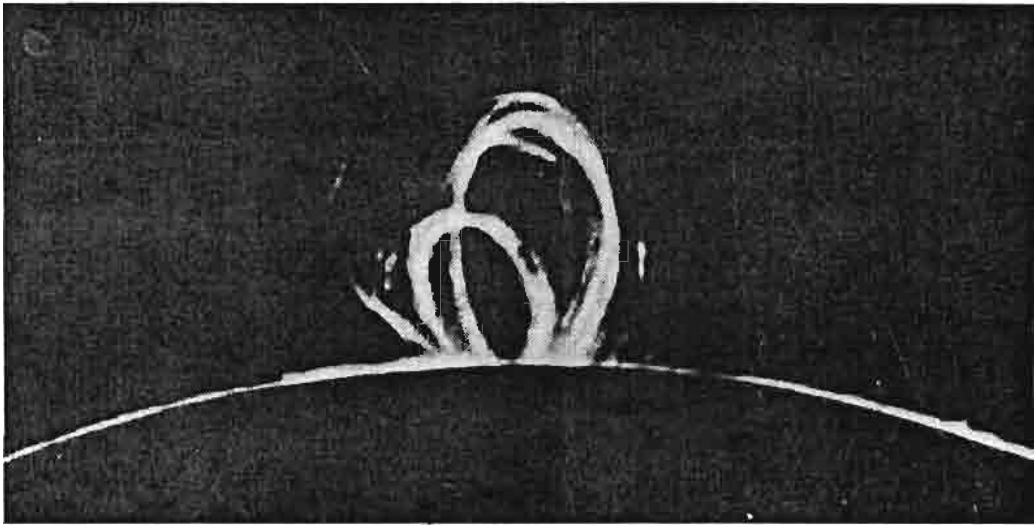
tura plazme od koje su građene je oko 10 000 K. Na spektroheliogramima, one se vide u obliku tamnih vlakana kada ih posmatramo ispred diska Sunca. Gledane sa strane, to su oni poznati sjajni mlazevi materije.

Hromosfera je tanki sloj oko Sunca koji se tokom totalnih pomračenja opaža kao crvenkasto obojeni oreol. Diže se neposredno iznad fotosfere i ima vlaknastu strukturu. Njen spektar sadrži mnogobrojne emisione linije. Hromosfera se diže do visine od oko 15 000 km iznad fotosfere. Vlakna koja se opažaju nazivaju se **hromosferske spikule**. Većina emisionih linija koje se vide u spektru Sunca odgovara tamnim Fraunhoferovim linijama vidljivih u spektru Sunca kada ga posmatramo u odsustvu pomračenja.

U hromosferi se povremeno opažaju **bljeskovi** koji su u neposrednoj vezi sa pjegama. To je naglo pojačanje sjaja dijela hromosfere i najbolje se vidi u vodikovoj H-alfa liniji. Izuzetno sjajni bljeskovi, uočljivi su i u oblasti vidljive svjetlosti. Pri tome se pojavljuju snažna korpuskularna zračenja i radio emisije. Samom bljesku prethodi jedna kompleksna evolucija magnetskog polja kojim se stvara čitav sistem električnih strujanja. Jedna ovakva akumulacija energije, dovodi do njenog oslobađanja u vidu bljeska.

Jedna od najimpozantnijih pojava, koja se vidi tokom pomračenja Sunca je **korona**. Ona se nastavlja na hromosferu, a pruža se na daljinu od nekoliko sunčevih radiusa. Sjajna je kao Mjesec u Prvoj četvrti. Sastoji se od unutrašnje i vanjske korone.

Forma korone se mijenja i različita je tokom ciklusa aktivnosti Sunca. Izum koronografa i sličnih uređaja, omogućio je da se ona detaljno ispita.

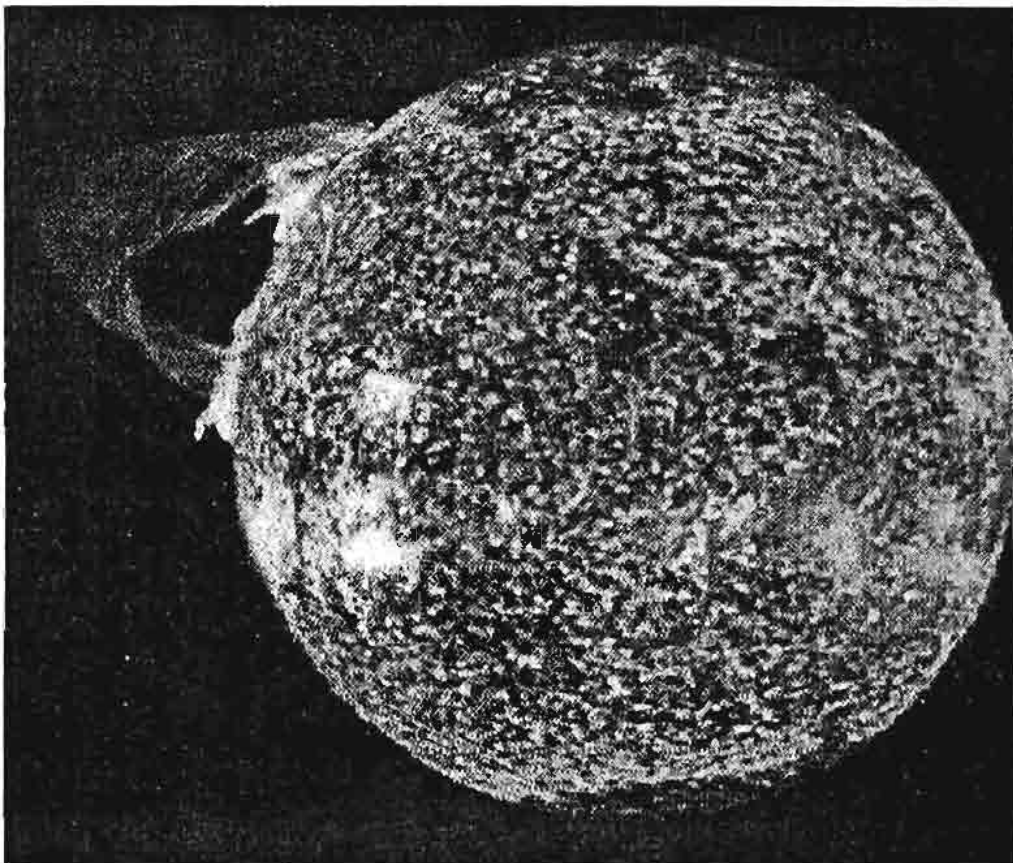


Sl. 114 Protuberance (prominencije).

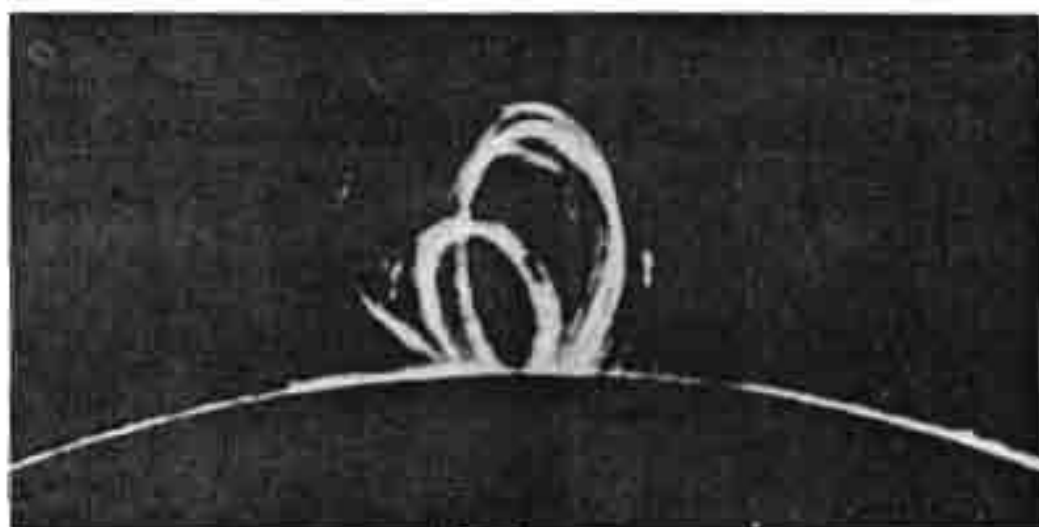
Spektar unutrašnje, ili K korone, je neprekidni, sa emisionim linijama. Naročito se ističe zelena linija sa valnom dužinom od 530 nm. Ta koronalna linija pripada višestruko ioniziranom atomu željeza. Od tog atoma je otrgnuto 13 elektrona, za šta je bila potrebna ogromna energija

(temperatura). Nju može dati temperatura od 1 milion stepeni Kelvina.

U spektru vanjske, ili F korone, javljaju se slabe apsorbcione linije koje odgovaraju linijama običnog sunčevog spektra. Tu se radi o odbijanju sunčeve svjetlosti od čestica prašine i plinova koji se mješaju sa vanjskim dijelovima



Sl. 115 Sunce u H-alfa svjetlosti snimljeno sa svemirske stanice "Skylab"

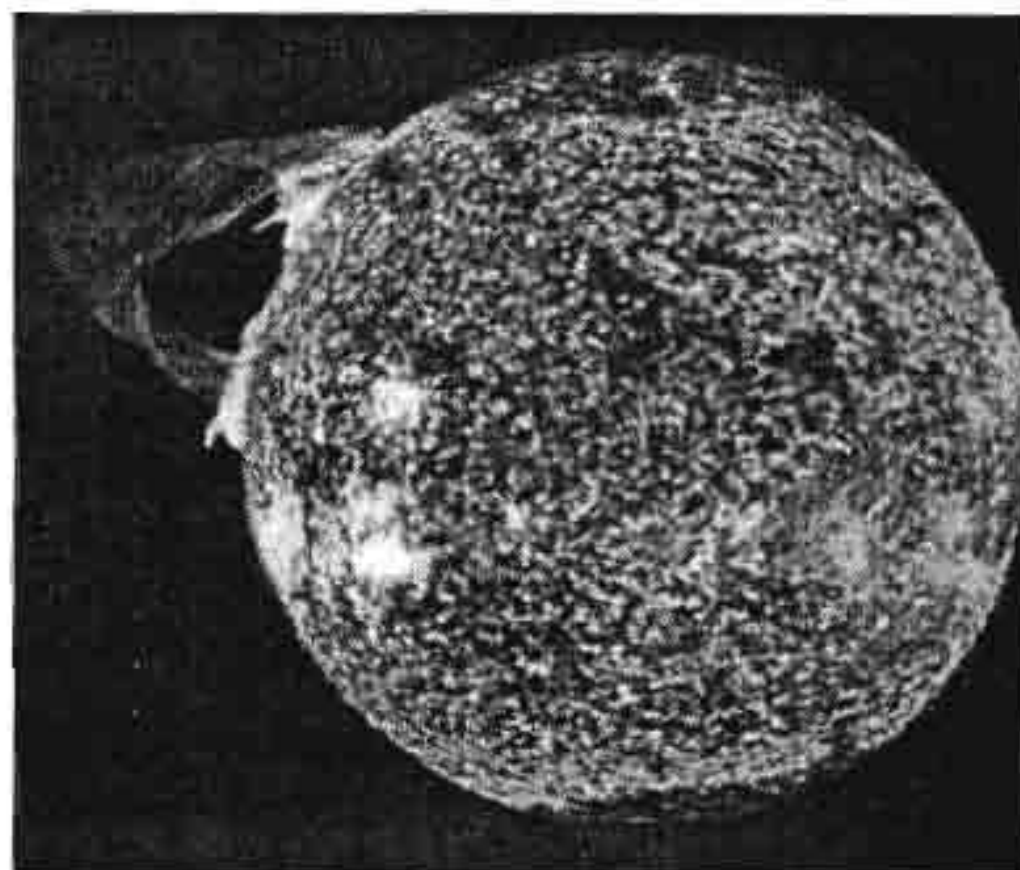


Sl. 114 Protuberance (prominencije).

Spektar unutrašnje, ili K korone, je neprekidni, sa emisionim linijama. Naročito se ističe zelena linija sa valnom dužinom od 530 nm. Ta koronalna linija pripada višestruko ioniziranom atomu željeza. Od tog atoma je otrgnuto 13 elektrona, za šta je bila potrebna ogromna energija

(temperatura). Nju može dati temperatura od 1 milion stepeni Kelvina.

U spektru vanjske, ili F korone, javljaju se slabe apsorbcione linije koje odgovaraju linijama običnog sunčevog spektra. Tu se radi o odbijanju sunčeve svjetlosti od čestica prašine i plinova koji se mješaju sa vanjskim dijelovima



Sl. 115 Sunce u H-alfa svjetlosti snimljeno sa svemirske stanice "Skylab"

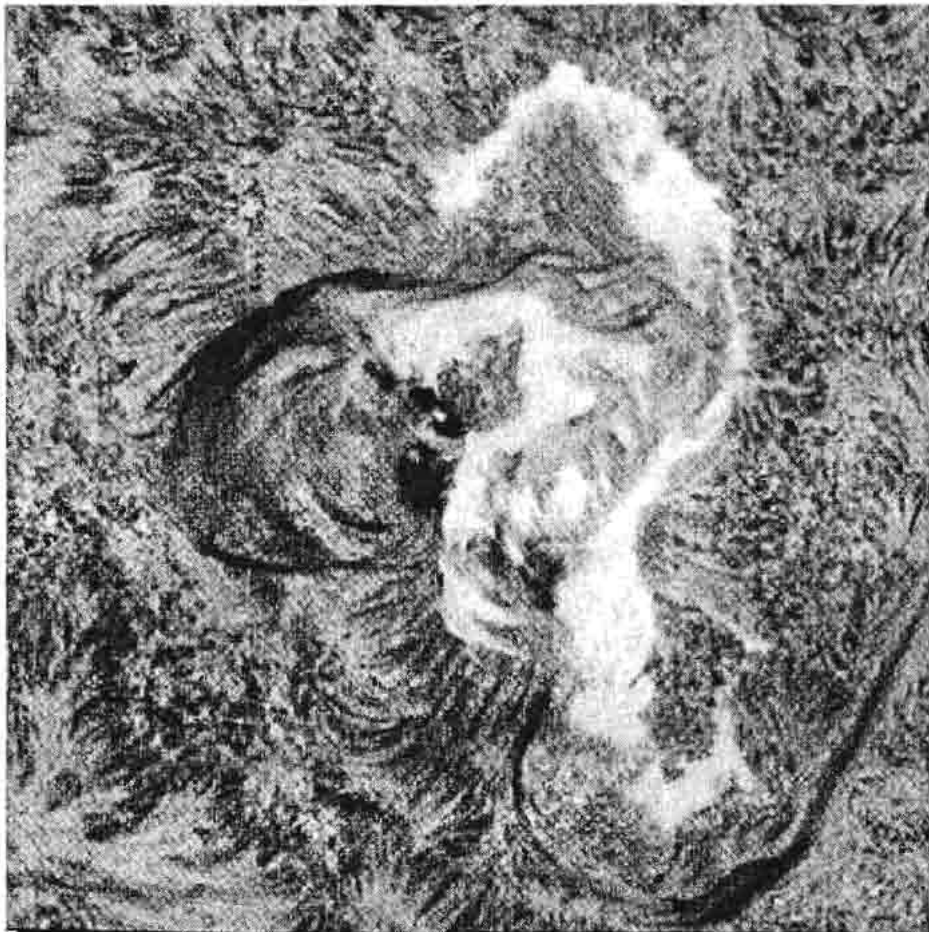
unutrašnje korone. Prema savremenim shvatanjima, korona se prostire znatno dalje nego što se mislilo. Zapaženo je da joj se oblik mijenja u skladu sa ciklusom pjega. Smatra se da koronu uglavnom grade elektroni.

Novija istraživanja Sunca

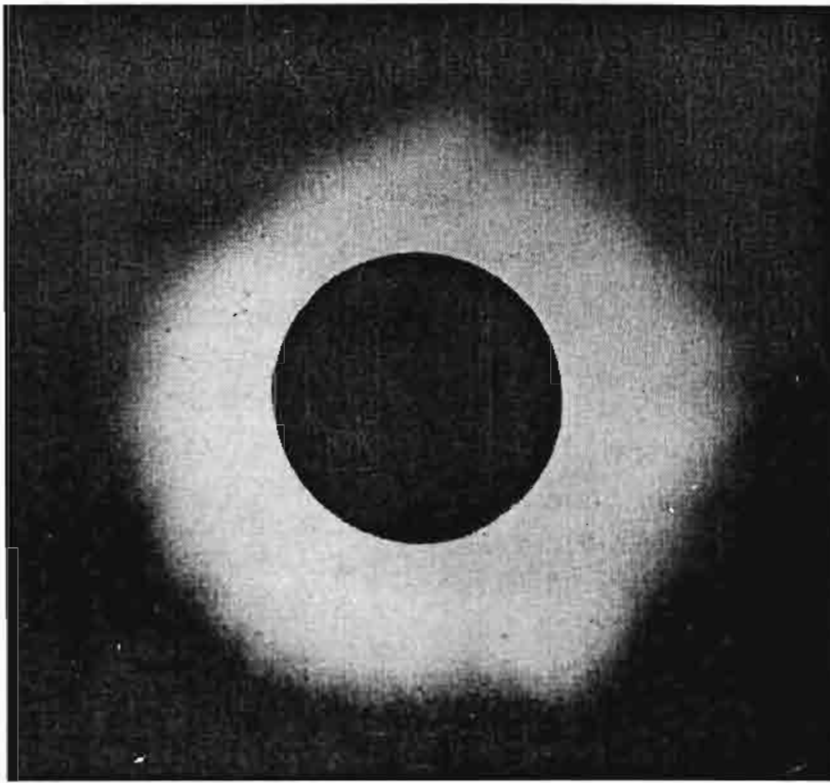
Kada je otpočela era astronautike, tada je istraživanju Sunca posvećena velika pažnja. Tako je u periodu od 1962. - 1979. godine, lansirano 8 letjelica pod nazivom "Orbiting Solar Observatory" (OSO-1 - OSO-2). One su neprekidno vršile osmatranja Sunca. Još značajnija posmatranja obavljena su sa svemirske stanice "Skylab", u periodu od 1973. - 74. Tada je Sunce posmatrano u svim dijelovima spektra, od rentgenskog do infracrvenog. 1980. godine, kada je Sunce bilo u maksimu-

mu svoje aktivnosti, lansiran je američki satelit nazvan "Solar Maximum Mission" ili **SMM**. Tokom ove decenije, lansirani su i drugi sateliti namjenjeni isključivo izučavanju Sunca i pojava na njemu.

Posmatranja u ultraljubičastom dijelu spektra, omogućila su izučavanje dubljih slojeva Sunca. Posebno je bilo interesantno proučavanje prelaznog sloja, između gornje hromosfere, gdje je temperatura 50 000 Kelvina i korone, gdje temperatura naglo raste na 1-2 miliona stepeni Kelvina. Procesi u ovom području direktno utiču na zbivanja u koroni. Sa druge strane znamo da korona ima veoma bitan uticaj na solarni vjetar i druge pojave koje direktno ili indirektno djeluju na magnetno polje Zemlje izazivajući, pored ostalog i polarnu svjetlost.



Sl.116 Sunčev bljesak snimljen u augustu 1972. godine sa opservatorije Big Bear. Bljesak se prostirao na dužini od 150 000 km.



Sl. 117 Izgled korone za vrijeme totalnog pomračenja

Van atmosferska istraživanja su omogućila dobijanje prvih snimaka Sunca u oblasti rentgenskih zraka. Njih intenzivno zrači korona. Na tim snimcima, fotosfera i kromosfera su tamne, a jasno se vide zbivanja u koroni. Tako su otkrivene tzv. **koronalne rupe** iz kojih naelektrisane čestice, direktno, struje u međuplanetski prostor. Takođe, opažene su i izolovane sjajne tačke, iz kojih dolazi intenzivno rentgensko zračenje.

Radio zračenje Sunca i uticaji Sunca na Zemlju

Odavno je primjećeno da, pri prolazu neke veće eruptivne pojave kroz centralni meridijan Sunca, dolazi do radio smetnji na Zemlji. Radio zračenje mirnog Sunca tj. Sunca u doba minimuma njegove aktivnosti, ima toplotnu prirodu. Od radio valova koji mogu proći kroz Zemljinu atmosferu, registrirani su centimetarski i

metarski valovi. U doba aktivnog Sunca, pri pojavama velikih grupa pjega, povezanih sa erupcijama, dolazi do snažnih radio šumova. Dužina ovih smetnji kreće se od nekoliko sekundi, pa do više minuta. U radio području, prečnik Sunca je veći nego u optičkom području. To nam govori da se hromosfera i korona, takođe, javljaju kao izvori radio valova.

Uticaj Sunca na Zemlju je velik, ali, u svim domenima on još nije dovoljno ispitan. Sunčevo korpuskularno zračenje nas neprekidno bombarduje i, pored ostalog, uzrokuje pojavu polarne svjetlosti. Ponekad se javljaju prave "**magnetske oluje**" tokom kojih igle na kompasima počinju svoj drhtavi ples. Njihov uzrok je vezan za pojave na Suncu.

U naše doba teži se za tim da se ogromni izvori Sunčeve energije što bolje iskoriste. Solarne ćelije koje se koriste kao izvori električne struje na

letjelicama i na Zemlji, samo su prvi uspješni koraci u tom pravcu. Tu su i kolektori za grijanje sunčevom energijom kao još jedan vid "čiste" energije.

POMRAČENJA SUNCA I MJESECA

Pomračenja Sunca

Kada u astronomiji govorimo o pomračenjima, tada mislimo na zaklanjanje jednog tijela drugim. Ove zanimljive pojave nisu vezane samo



Sl. 118 Sunce u rentgenskim zracima snimljeno raketom NASA-e 1989. godine.

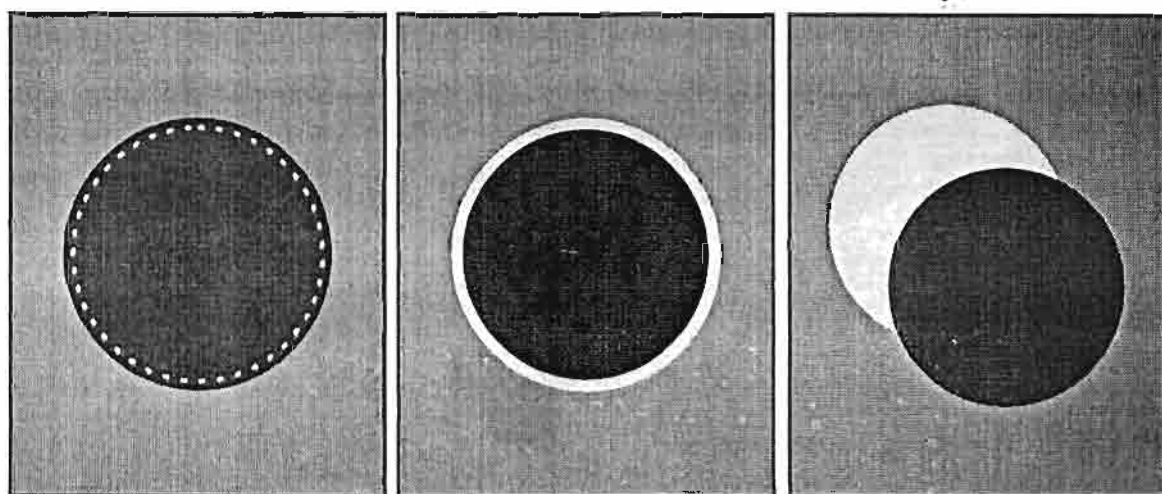
za Sunčev sistem, već se dešavaju i u svijetu zvijezda, a u mnogim slučajevima su izvor najraznovrsnijih informacija. Dovoljno je pomenuti pomračujuće dvojne zvijezde, tijesne dvojne sisteme u kojima je jedan član neutronska zvijezda i slično.

Za nas su od posebnog značaja pomračenja Sunca i Mjeseca koja se lako opažaju golim okom i koja nas prate kroz cijelu povijest čovječanstva. Pri tome su, posebno pomračenja Sunca, smatrana zlokobnim znamenjem.

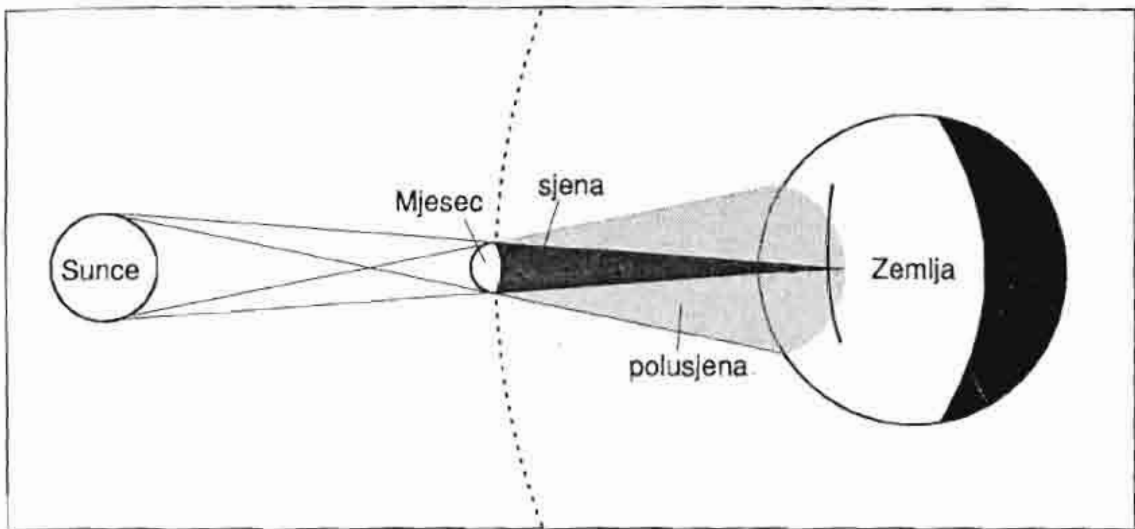
Možemo govoriti o tri tipa sunčevih pomračenja. To su potpuno ili totalno, djelimično ili parcijalno i prstenasto pomračenje Sunca.

Kakvo će pomračenje da se desi, zavisi od udaljenosti Zemlja - Sunce, Zemlja - Mjesec i Mjesec - Sunce. Na slici 125 vidimo da je uvjet da dođe do **totalnog pomračenja** taj da i Sunce i Mjesec budu u blizini čvora.

Na slici 120 dat je shematski prikaz totalnog pomračenja. Zaključujemo da će se totalno pomračenje Sunca vidjeti samo u onim oblastima na Zemlji preko kojih putuje mjesечеva sjenka. Tamo gdje pada polusjena, desiće se **djelimično pomračenje**. Prečnik mjesечеve sjene ne može biti veći od



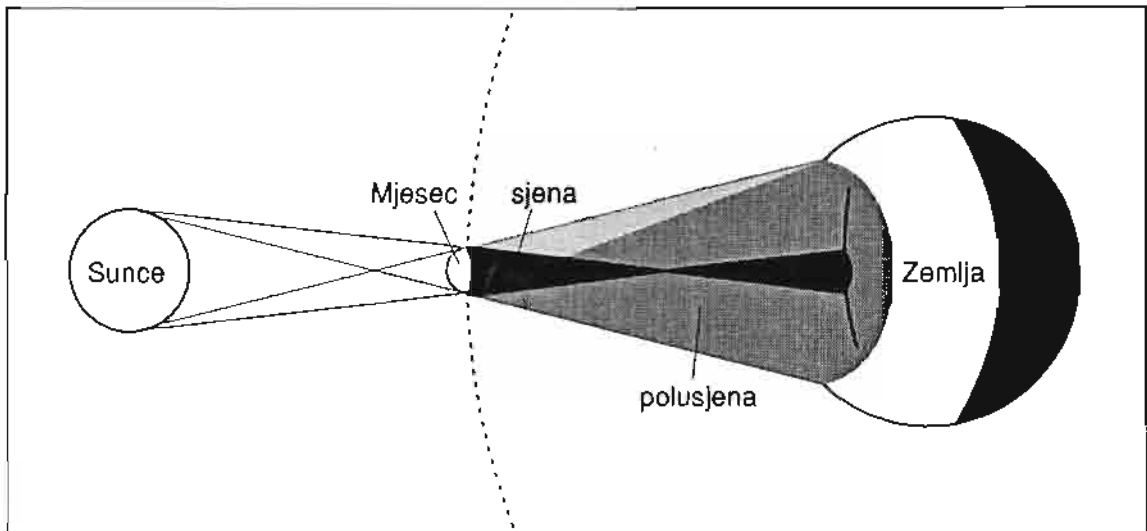
Sl. 119 Tri tipa pomračenja Sunca: a) totalno, b) prstenasto, c) parcijalno



Sl. 120 Shematski prikaz totalnog pomračenja Sunca



Sl.121 Izgled Sunca za vrijeme prstenastog pomračenja. Snimak je načinila ekspedicija Astronomskog društva iz Sarajeva, 20. maja 1966. godine iz Grčke.

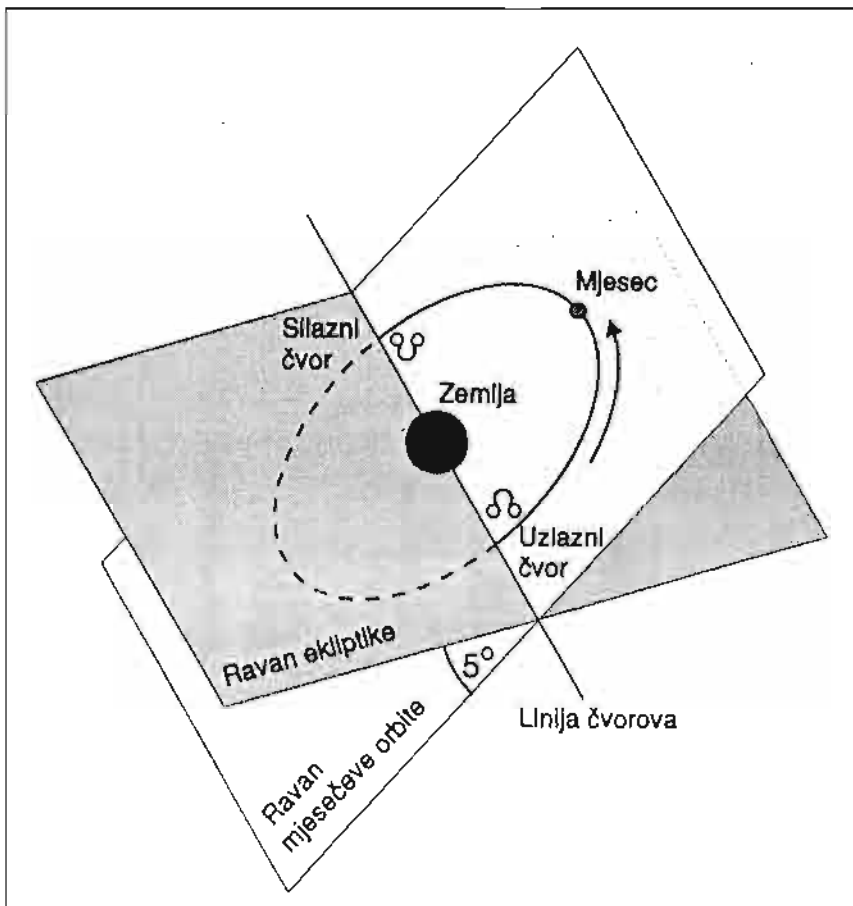


SI.122 Shematski prikaz nastanka prstenastog pomračenja

270 km, te se zato pomračenje vidi samo u uskim oblastima. Kako se Zemlja okreće oko svoje ose, a Mjesec se kreće oko Zemlje, sjena će se postepeno pomjerati po površini po jednoj tankoj liniji. U jednoj tački, totalitet može trajati maksimalno 7 minuta i 30 sekundi, kao što je to bilo

30. juna 1973. godine kada se desilo najduže pomračenje u ovom stoljeću.

Zbog eliptičnih putanja Zemlje i Mjeseca, prividni prečnik našeg satelita nije uvijek isti. Kada se vrh njegove sjene, kupastog oblika, ne formira na površini Zemlje, već negdje iznad, tada dolazi do pojave **prstenas-**



SI. 123 Orbite Zemlje i Mjeseca sa linijom čvorova

tog pomračenja. U trenutku totaliteta, Sunce nije u potpunosti prekriveno, nego se oko tamnog diska Mjeseca formira svijetli prsten (Slika 122). I u ovom slučaju, tamo gdje pada polusjena, dolazi do djelimičnog pomračenja.

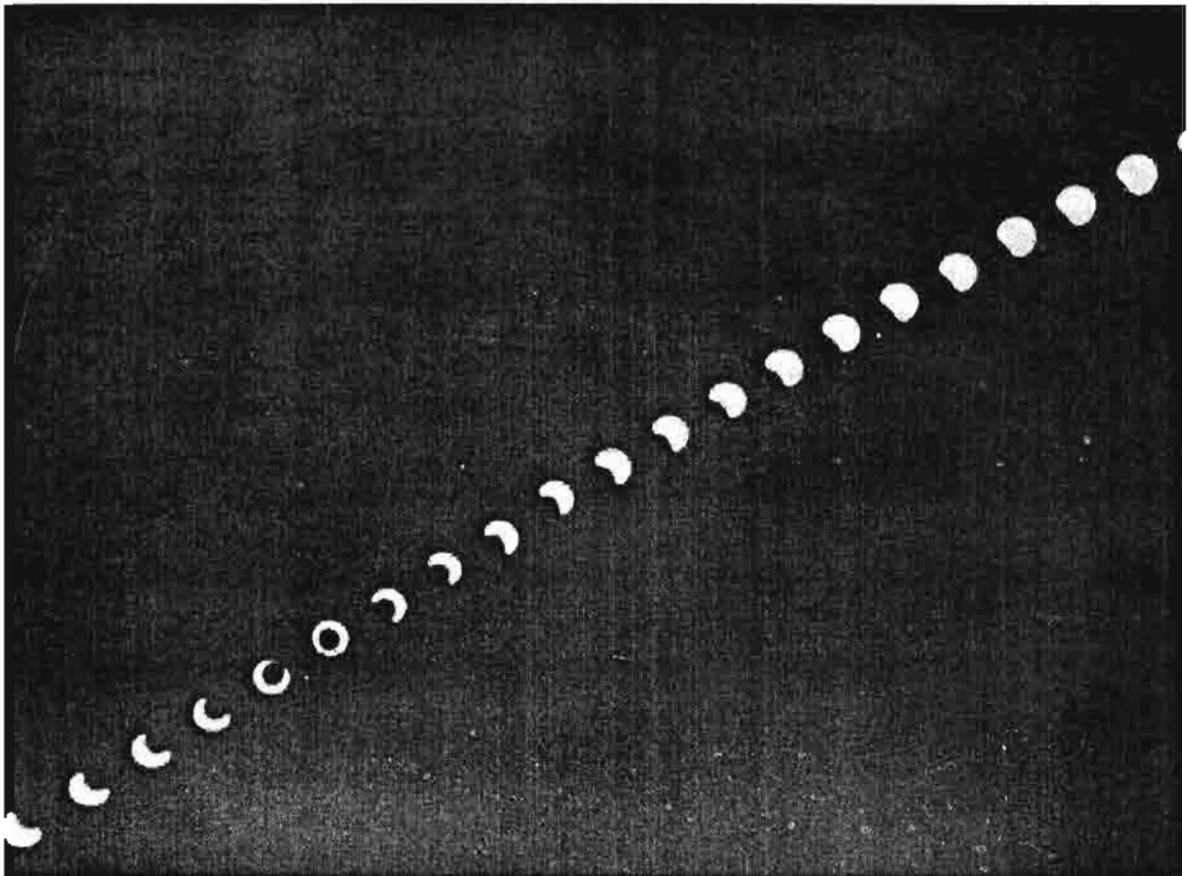
Već smo rekli da je prečnik Mjesečeve sjene ne prelazi 270 km. Polusjenka može da ima prečnik 6000 - 7000 km. Mjesec se oko Zemlje kreće sa brzinom od oko jednog kms^{-1} , pa se i njegova sjena pomjera po tlu istom tom brzinom. Ovo nam daje i prosječnu vrijednost trajanja totalnog pomračenja koja iznosi oko 5 minuta. Kao što smo pomenuli, a to se dešava vrlo rijetko, dužina trajanja totalnog pomračenja može da dostigne i 8 minuta. Češće, potpuna pomračenja traju 2 - 3 minuta.

Nije teško shvatiti da se pomračenja Sunca mogu posmatrati samo

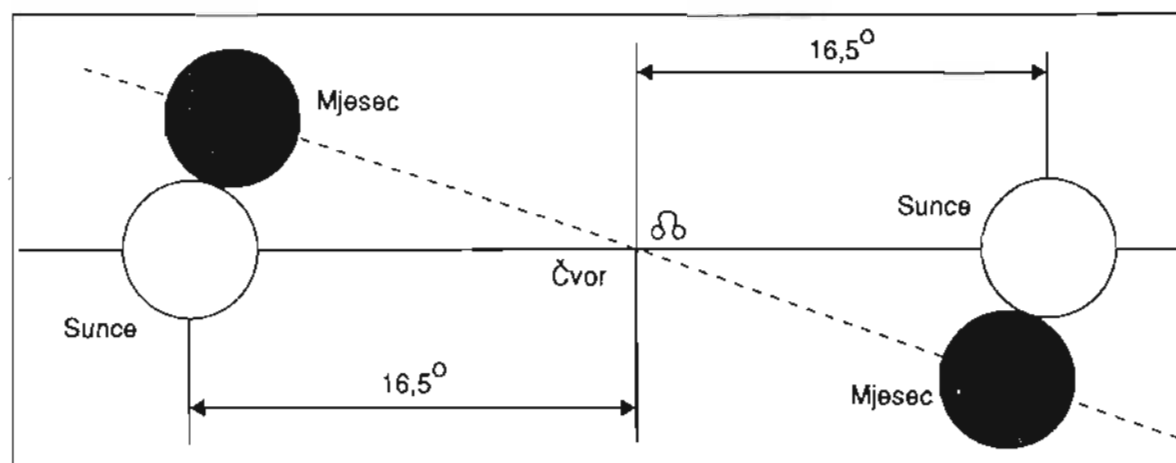
kada je Mjesec u fazi mladaka (Mladi Mjesec). Kada bi ekliptika tj. orbita Zemlje oko Sunca i sama orbita Mjeseca ležali u jednoj ravni tada bi se pomračenja Sunca dešavala redovno, svakog mjeseca. Međutim, orbita Mjeseca je prema ekliptici nagnuta za ugao od oko 5° . Tačke presjeka ove orbite sa ekliptikom nazivaju se čvorovi, a linija koja ih spaja je linija čvorova.

Da bi došlo do pomračenja Sunca, Mjesec mora biti u fazi mladaka. Pri tome, Sunce i Mjesec ne smiju da se udalje više od $16,5^\circ$ istočno ili zapadno od čvora. Ta situacija prikazana je na slici 125.

Zbog gravitacionog djelovanja Sunca, linija čvorova ne ostaje paralelna sebi, već se sporo zakreće u ravni Zemljine orbite. Jedan puni obrt se obavi za 18,6 godina, a smjer tog



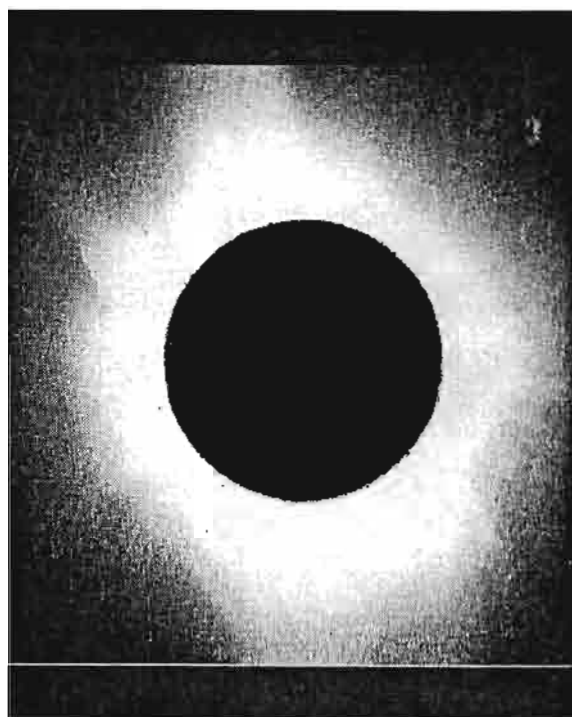
Sl.124 Snimak toka prstenastog pomračenja Sunca. Fotografija Zvezdarnice u Zagrebu



Sl.125 Uslovi potrebni da dođe do pomračenja Sunca.

pomjeranja je suprotan smjeru kretanja Zemlje oko Sunca. Zbog ovog kretanja, Sunce će ponovo proći kroz isti čvor ranije, tj. prije nego što prođe godina dana. Taj period između dva uzastopna prolaska Sunca kroz uzlazni čvor Mjesečeve orbite, naziva se **drakonističkom godinom**. Ona ima 346,62 dana.

Dakle, svakih 346,62 dana Zemlja se nađe u istom položaju u odnosu na uzlazni čvor. Kada bi se broj dana



Sl.126 Totalno pomračenje Sunca od 11.7. 1991.godine.

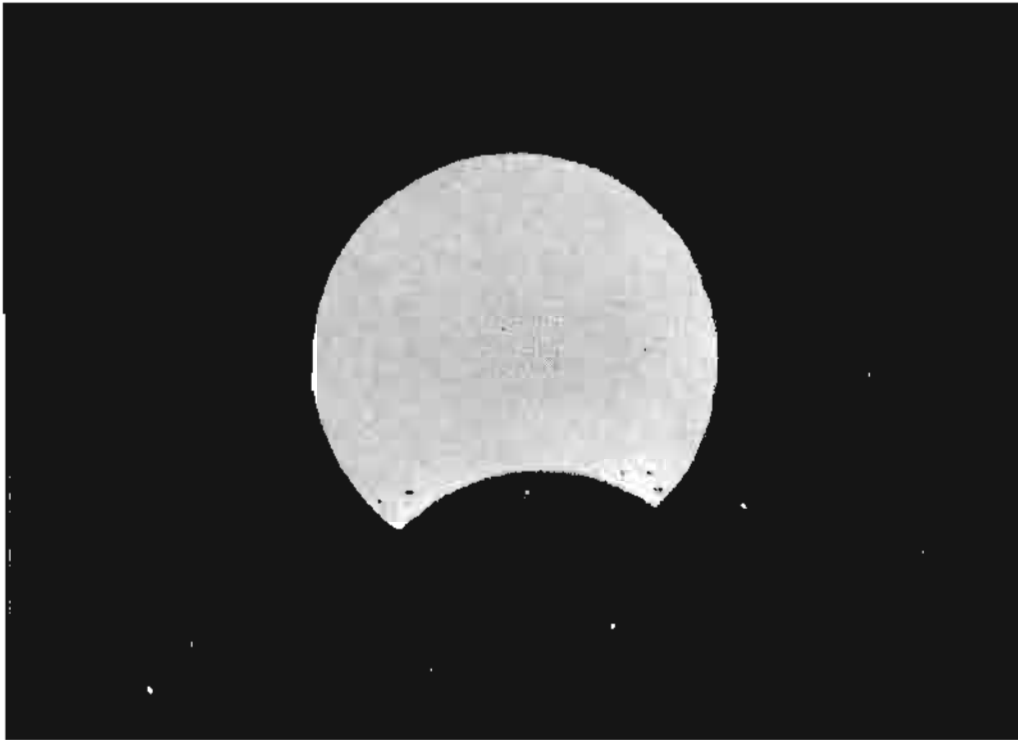
drakonističke godine mogao, bez ostatka, podijeliti sa brojem dana sinodičkog mjeseca (29,53059), tada bi se pomračenja ponavljala u pravilnom nizu. Ovdje nemamo diobu bez ostatka, pa se zbog toga Mjesec ne nalazi u isto vrijeme u sličnom položaju u odnosu na Zemlju i Sunce.

Pokazuje se da u toku jedne godine ne može biti manje od dva pomračenja Sunca. Maksimalni broj pomračenja iznosi 5 godišnje. Sa ovim je direktno povezano pitanje predviđanja pomračenja. Još vrlo davno, kineski astronomi su došli empirijskim putem do zaključka o periodičnosti pomračenja. Taj period dužine 18 godina i 11 dana (65 685 dana), nazvan je **saros**. U njemu u prosjeku možemo posmatrati 43 sunčeva i 29 mjesečevih pomračenja. Matematički se ovaj problem postavlja tako što je potrebno pronaći razlomak koji bi bio najpribližniji razlomku:

$$\frac{346,61985}{29,53059} =$$

= a/b

a= broj dana drakonističke godine
b = broj dana sinodičkog mjeseca



SI.127 Izgled Sunca za vrijeme djelimičnog pomračenja koje se desilo 1970. godine. Snimio: Muhamed Muminović, Astronomska opservatorija u Sarajevu

Pokazuje se da je to razlomak:

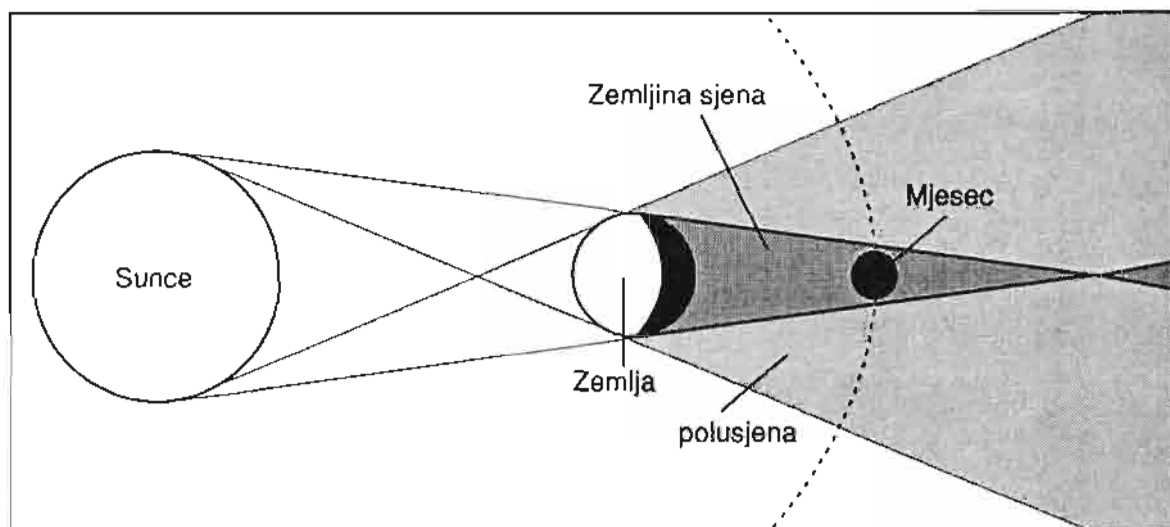
$$\frac{223}{19}$$

Broj dana u 19 drakonističkih godina gotovo je u potpunosti jednak broju dana u 223 sinodička mjeseca. Oba broja su jednaka 6585,3 dana ili 18 godina 11 dana 8 sati (ako su u tom periodu bile 4 prestupne godine) ili 18 godina, 10 dana i 8 sati (ako je u tom periodu bilo pet prestupnih godina).

Iz izloženog proizilazi da je dovoljno znati vrijeme nastupanja svih pomračenja u toku jednog sarosa i time možemo predskazati sva pomračenja u narednom sarosu. To postizemo tako što na trenutak nekog pomračenja u prvom sarosu dodajemo 6585,3 dana. Naravno, zbog poremećaja u kretanju Mjeseca, saros nije potpuno precizan i mora dolaziti do manjih odstupanja. Ciklus sarosa su poznavali astronomi starih civilizacija.

Pomračenja Mjeseca

Pomračenja Mjeseca, **potpuna** ili **djelimična**, nastaju kada se Pun Mjesec nađe blizini nekog od čvorova svoje putanje. U tim oblastima proicira se i sjenka naše planete na nebu. Pomračenje uvijek počinje ulaskom Mjeseca u polusjenku, a zatim u sjenku. Posmatrač koji se nalazi u nekoj tački na površini Zemlje najprije opaža kako Mjesec počinje da postepeno i jedva primjetno, tamni sa lijeve strane. To je početak ulaska našeg satelita u polusjenku. Nakon toga zapaža se jasnije zatamnjenje, takođe sa lijeve strane. To je početak ulaska Mjeseca u sjenku. Naš prirodni satelit se na nebu pomjera s desna ulijevo, pa sjenka napreduje dolazeći s lijeva, sa istoka. Kada Mjesec u potpunosti uđe u sjenku Zemlje (totalno pomračenje), on se potpuno zatamni. Međutim, mi ga i dalje vidimo. Boja mu postane



Sl.128 Shema nastanka Mjesečevog pomračenja

bakarno crvena. Razlog ovog obojenja i uopće izvjesne osvijetljenosti Mjeseca su valovi većih dužina koje Zemljina atmosfera prelama jače nego plave zrake.

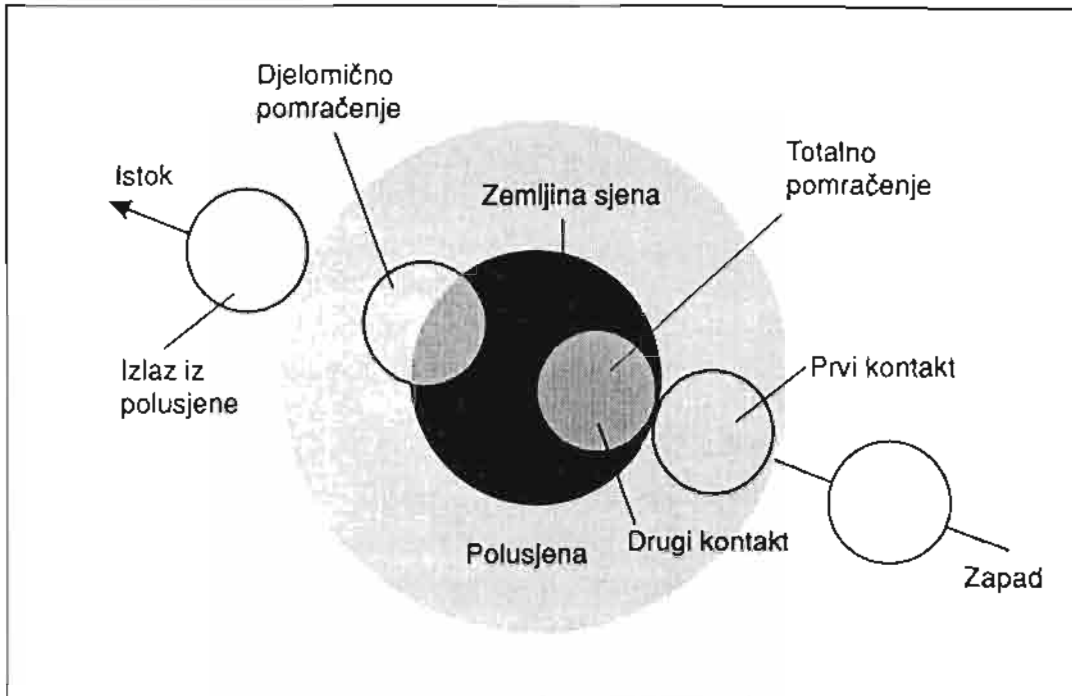
Astronomski proračuni pokazuju da su u jednoj kalendarskoj godini moguća najviše dva pomračenja Mjeseca, a rijetko, u izuzetnim slučajevima i tri. Pri tome su dva uzastopna pomračenja rastavljena periodom od po 6 sinodičkih mjeseci. Postoje i godine kada se ne desi ni jedno pomračenje Mjeseca.

Iako se dešavaju znatno rjeđe od pomračenja Sunca, pomračenja Mjeseca se mogu češće posmatrati sa jednog određenog mjesta. Zemljina sjena je dovoljno velikih dimenzija pa je pomračeni Mjesec vidljiv gotovo na cijeloj polukugli Zemlje na kojoj je u vrijeme pojave noć.

Pomračenja Mjeseca su, potpuno bezbjedna za posmatranja za razliku od pomračenja Sunca. Upotreba i najmanjeg dvogleda ovaj prizor čini još ljepšim.



Sl.129 Izgled Mjeseca za vrijeme djelimičnog pomračenja. Granica svjetla i tame nije tako oštra kao kod faza Mjeseca, jer je sjenka Zemlje difuzna. Snimak je načinjen sa Astronomске opservatorije u Sarajevu. Snimio: M.Stupar.



Sl. 130 Glavni događaji prilikom potpunog pomračenja Mjeseca. Dolazeći sa zapada, Mjesec ulazi u polusjenku. Kada dotakne Zemljinu sjenku, nastupa trenutak prvog kontakta. Potpuni ulazak u sjenku označava se tačkom drugog kontakta. Izlazak iz sjenke obilježen je tačkama trećeg i četvrtog kontakta.

POSTANAK SUNČEVOG SISTEMA (OSNOVI KOSMOGONIJE)

Uvod

Nema sumnje da planete i sva druga tijela koja sačinjavaju Sunčevu familiju, nisu postojale oduvijek. One su se u jednom dalekom vremenu rodile, imaju svoju evoluciju, a jednog dana imat će i svoj kraj. U astronomiji, problemima postanka planeta, astero-ida, kometa, meteora, zvijezda i zvijezdanih sistema, te raznih drugih objekata koje susrećemo u svemiru, bavi se kosmogonija. U dugom historijskom periodu ona je bila, uglavnom, vezana za vladajuće religiozne ili religiozno-filozofske sisteme svijeta. Naravno, tako bitnom činu kakav je

"postanak svijeta", oduvijek se pripisivao akt božanske volje. Prve, makar primitivne, naučne teorije o postanku Sunčevog sistema, pojavljuju se tek u 18 stoljeću.

Da bi jedna kosmogonijska teorija o planetskom sistemu mogla opstati ili, bar djelimično biti u nekim grani-cama realnosti, ona mora da objasni neke utvrđene činjenice o Sunčevom sistemu. Zato ćemo ovdje, prije nego što izložimo najvažnije teorije, reći nešto o osnovnim karakteristikama Sunčevog sistema kao cjeline.

1. Sva tijela Sunčevog sistema, izuzev kometa, približno su kuglastog oblika i kreću se po kružnim ili eliptičnim putanjama. Sve te putanje leže, približno, u jednoj ravni koju nazivamo ekliptika.

2. Sve planete Sunčevog sistema i njihovi sateliti, okreću se oko svoje ose

i oko Sunca u jednom smjeru koji se naziva direktni. U par slučajeva, kada su u pitanju sateliti, susrećemo i suprotni smjer koga zovemo retrogradni.

3. Najveći dio mase Sunčevog sistema koncentriran je u Suncu. Nasuprot tome, najveći dio momenta količine kretanja smješten je u planetama. Mase planeta rastu od Merkura do Jupitera, a zatim opadaju do Plutona.

4. Sve kosmogonijske teorije moraju objasniti tzv. Ticius - Bode-ovo pravilo. **Ticius i Bode** su u 18 stoljeću došli do formule koja omogućava da se uvrštavanjem nekog iz niza brojeva $-\infty, \dots, 0, 1, 2, 3, 4, 5, \dots$ itd dođe do rastojanja svake od poznatih planeta. Ta formula glasi:

$$a = 0,4 + 0,3 \cdot 2^n.$$

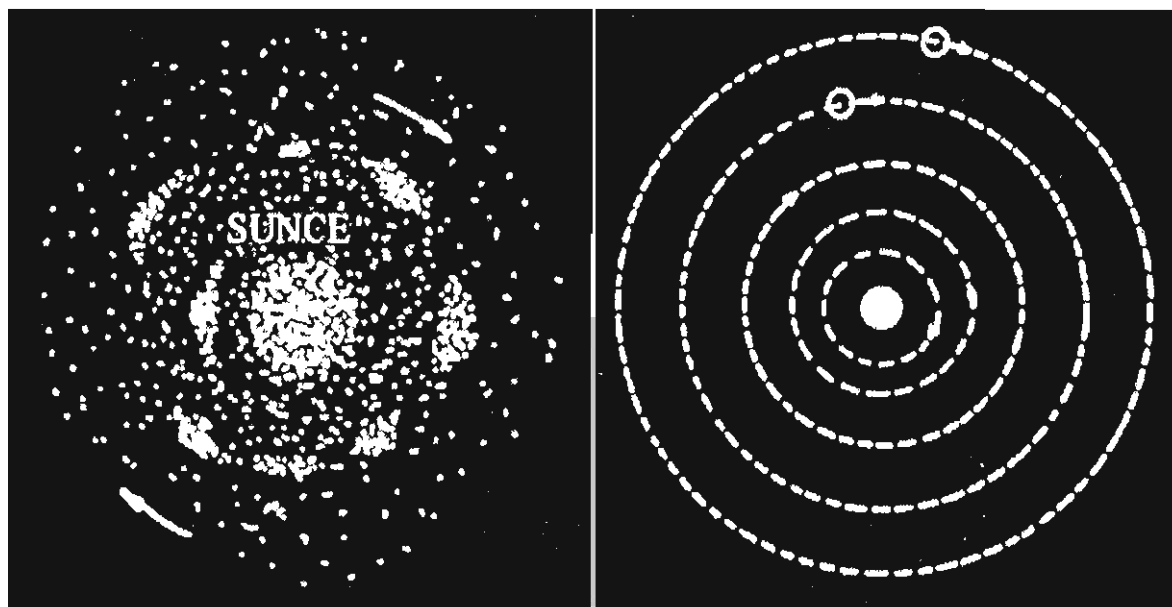
Tako, ako recimo uvrstimo $n = -\infty$, dobijamo da se planeta Merkur nalazi na udaljenosti od Sunca:

$$a = 0,4 + 0,3 \cdot 2^{-\infty} = 0,4 \text{ astronomske jedinice}$$

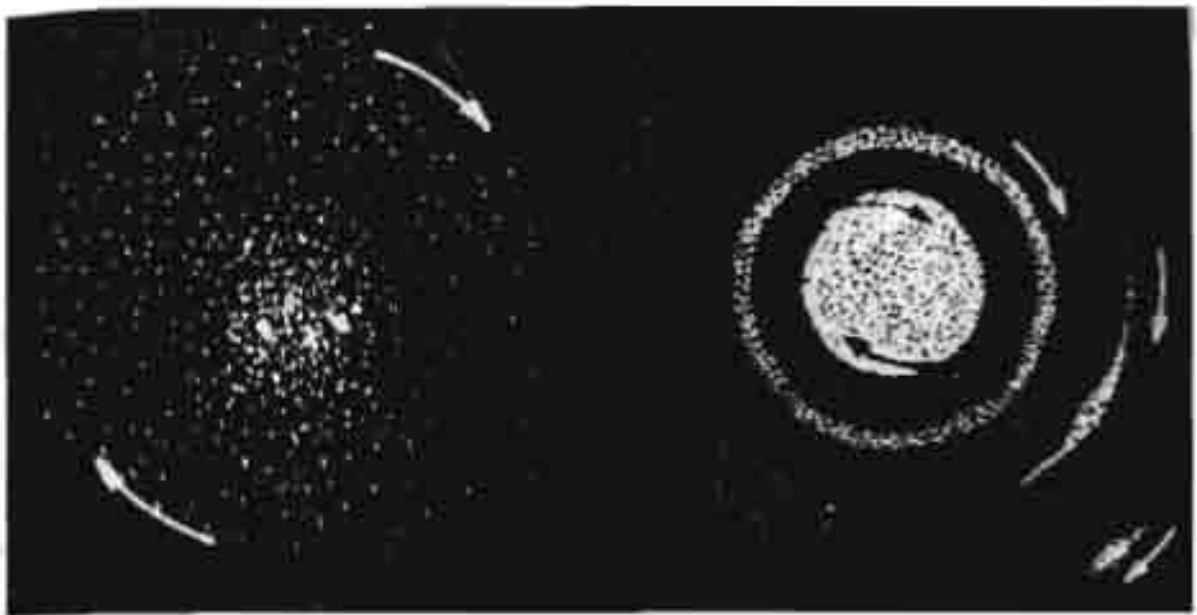
Kosmogonijske teorije

Prvu kosmogonijsku teoriju postavio je njemački filozof **Immanuel Kant** 1755. godine. On je pretpostavio da se na mjestu današnjeg Sunčevog sistema nalazila haotična pramaglina. U njoj je došlo do postepenog privlačenja pojedinih čestica. Materija je po njemu bila užarena i rotirala je u direktnom smjeru. U središtu ove pramagline, zgusnulo se Sunce, a dalje od njega planete. Pošto je Kant bio filozof, on nije za ovu svoju teoriju dao nikakvu matematičku podlogu.

Sličnu teoriju o postanku iznio je i francuski naučnik **Pierre Simon Laplace**. On najvjerojatnije nije ni znao za Kantova razmišljanja. Laplace-ova detaljna razrada teorije dovela je do toga da je u povjesti nauke ona ostala kao **Kant - Laplace-ova teorija**. Po njoj, u dalekoj prošlosti, na mjestu gdje je sada naš planetski sistem, postojala je ogromna plinovita maglina, nastala koncentracijom materije. Bila je užarena i rotirala je u direktnom smjeru. Usljed neprekidnog emitiranja energije, maglina se postepeno hladila i skupljala.



SI.131 Postanak Sunčevog sistema po Kant-ovoj teoriji.



Sl. 132 Kant - Laplace-ova teorija počinje od usijane magline koja rotira, postepeno se hladi i skuplja.

Prema zakonima mehanike, takvo skupljanje neminovno je vodilo porastu ugaone brzine materije koja je rotirala.

Ovdje se radi o zakonu o očuvanju impulsa obrtnog momenta. On je jednak proizvodu mase tijela, njegove linearne brzine i udaljenosti tačke na koju se odnosi, od ose rotacije. Pošto se impuls mora očuvati, a masa je konstantna, to smanjenje radiusa magline uzrokuje povećanje brzine rotacije. Obzirom na to da je maglina bila u plinovitom stanju, to je povećavanje brzine dovelo do njene spljoštenosti na polovima i ispupčenosti na ekvatoru. Kada je centrifugalna sila na ekvatoru dostigla izvjesnu kritičnu vrijednost, postavši znatno jača od privlačne sile, počelo je odvajanje materije sa tih ekvatorskih zona. Po Laplace-u, ta materija se odvajala u obliku prstenova. Ti prstenovi su nastavili da rotiraju oko magline koja ih je rodila. Laplace je tu dao analogiju sa Saturnovim prstenovima koji se nisu zgusnuli u veće tijelo zbog nekih poremećaja. Od svakog prstena, kondenzovala se po jedna planeta.

Sateliti planeta nastali su na sličan način od prstenova koji su se odvajali od planeta.

Kant - Laplace-ova teorija se dugo održala kao najbolje objašnjenje postanka Sunčevog sistema. Vremenom su u njoj otkrivene brojne protivrječnosti koje su dovele do njenog napuštanja. Najprije je **J.C. Maxwell** izvršio matematičku analizu ove teorije. On se zapitao zašto iz Saturnovih prstenova nije formirano neko tijelo. Zato je, teorijski, razbio današnje planete, čije su mase poznate, na prstenove od kakvih je trebalo da postanu. Njegova analiza je pokazala da, iz prstenova sa masom koju planete imaju, nikada nije moglo da se formira neko veće tijelo. Za takvo što, potrebni su prstenovi sa 100 puta većom masom.

James Jeans je na osnovu savremenog momenta količine kretanja Sunca i planeta, izračunao moment količine kretanja pramagline. On je došao do zaključka da pramaglina nikada nije, u svojoj historiji, dostigla

kritičnu brzinu potrebnu za odvajanje prstenova. Isto tako, prema Jeansu, da se maglina okretala onako brzo kako je to teorija predviđala, Sunce bi bilo vidno spljošteno na polovima, što se ne dešava. Ove primjedbe, i kasnija otkrića retrogradnih kretanja nekih satelita i planeta, dovela su do napuštanja Kant - Laplaceove teorije u njenom izvornom obliku.

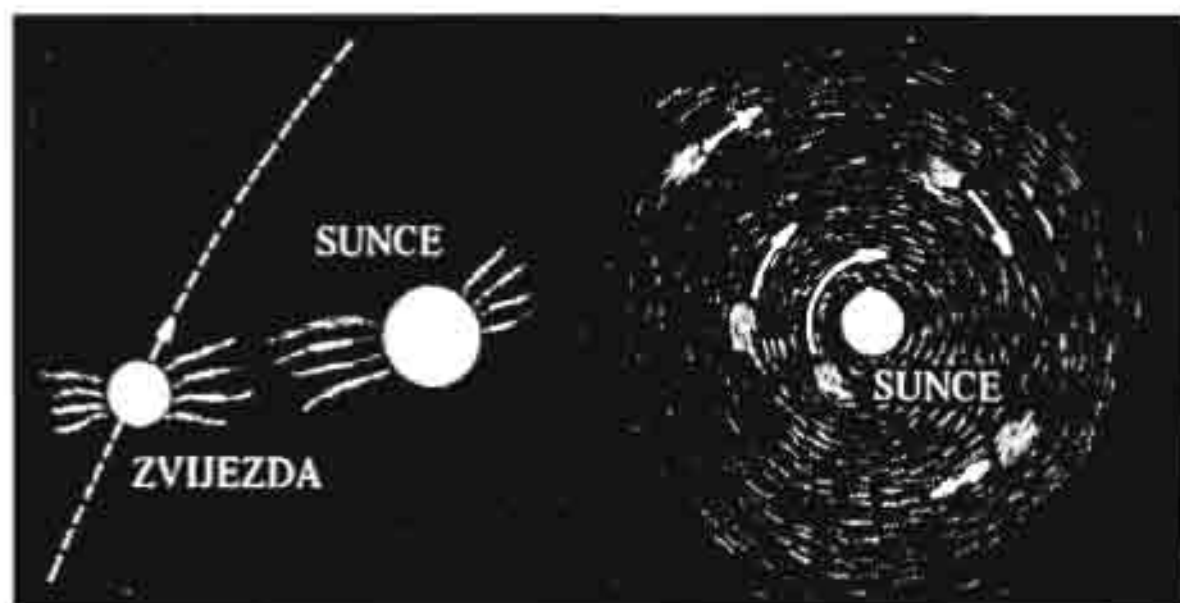
Neuspjeh maglinske teorije da objasni postanak planetskog sistema, naveo je neke astronome da se pozabave drugim, mogućim scenarijima rađanja. Jedno vrijeme su posebno bile popularne teorije sudara i plimskog dejstva. Svima njima je zajedničko da se postanak planetskog sistema objašnjava uticajem nekog stranog tijela, zvijezde, ili više zvijezda koje su se susrele sa Suncem.

Najprije su **Moulton i Chamberlin** pretpostavili da se neka zvijezda približila Suncu, tokom njegovog kretanja kroz svemir. Približavanje je izazvalo goleme erupcije materije na obje zvijezde. Ta izbačena materija,

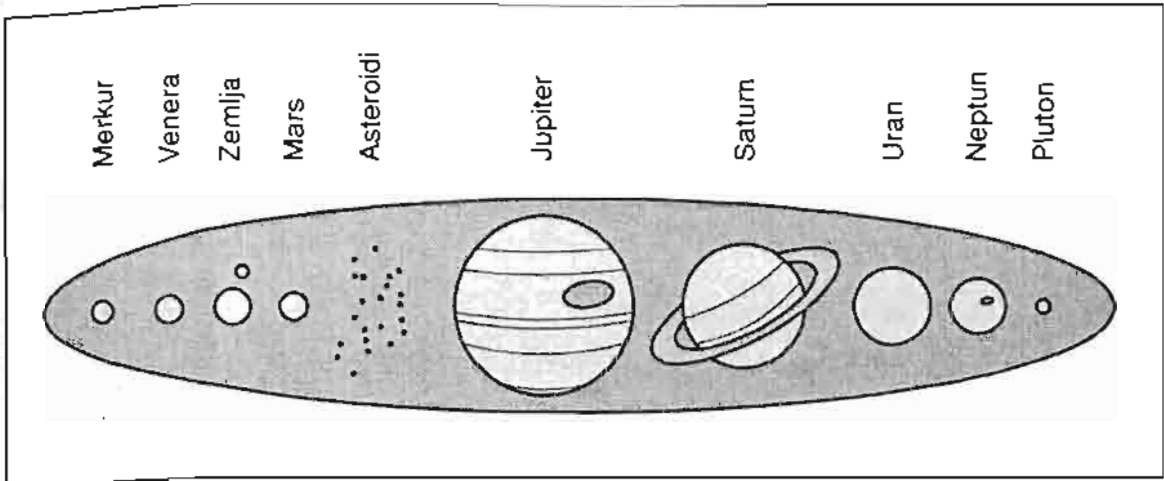
okružila je svaku od zvijezda, a iz ove materije su se kondenzirale planete.

Već pomenuti **James Jeans**, inače veliki engleski astronom, 1917. godine postavlja svoju teoriju plimskog tipa. Ta teorija bila je znatno bolja od ostalih ove vrste. po njoj, u dalekoj prošlosti, Suncu se približila neka zvijezda i to na udaljenost od nekoliko njegovih prečnika. Njena gravitacija je na Suncu izazvala pojavu divovskih plimskih grebena. Plimsko ispupčenje, koje je okrenuto ka zvijezdi, bilo je znatno veće od onoga na suprotnoj strani Sunca. Kako se zvijezda udaljavala, taj plimski greben pretvorio se u dugi vretenasti mlaz materije koji je nastao da rotira oko Sunca.

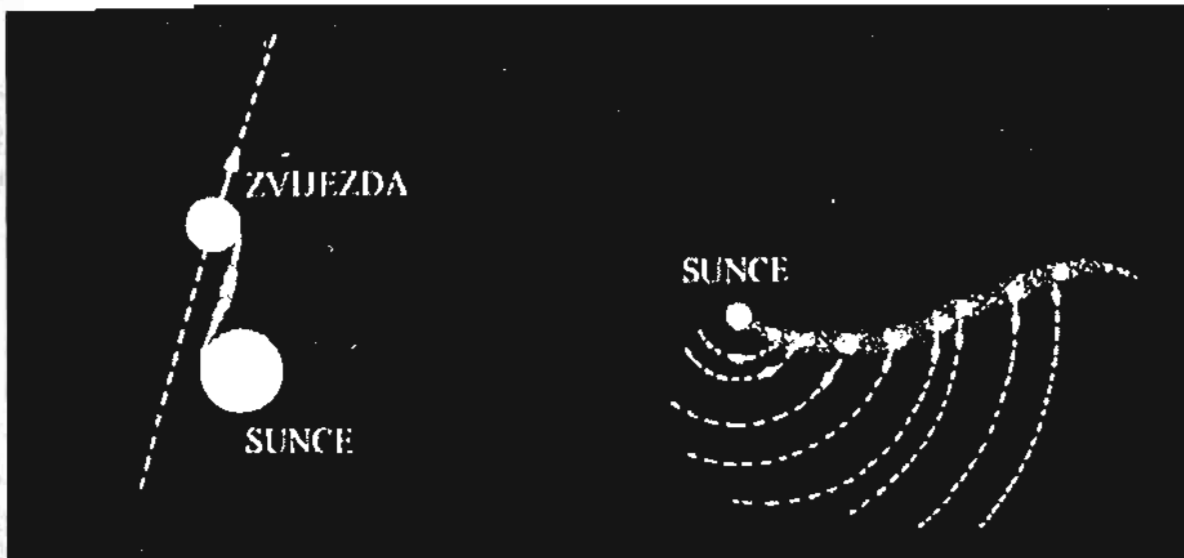
Ovaj mlaz materije je imao oblik cigare i time Jeans objašnjava zašto mase i prečnici planeta rastu do Jupitera, a zatim opadaju do Plutona. Na središnjem dijelu "cigare", gdje su se privlačne sile zvijezde i Sunca neutralizirale, materije ima najviše. Ovaj vretenasti mlaz materije, raspao se na manje kondenzacije, koje su



Sl. 133 Chamberlin - Moulton-ova plimska teorija



SI. 134 Prema Jeans-ovoj teoriji mase planeta rastu do Jupitera, a opadaju do Plutona zbog vretenastog oblika mlaza materije



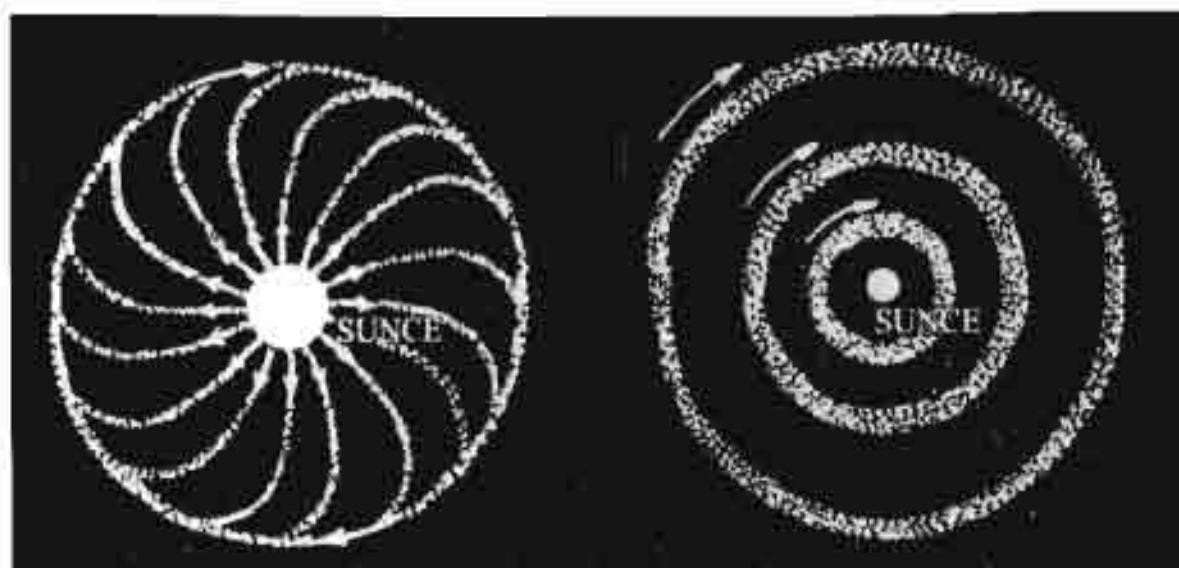
SI.135 Jeans-ova plimska teorija

nastavile da se okreću oko Sunca. Postepenim očvršćavanjem, nastale su planete. Prvobitno su putanje planeta bile izdužene elipse, ali su se vremenom ispravile zbog stalnih sudara planeta sa preostalom materijom.

Jeans-ova teorija se nije dugo održala. Osnovna zamjerka svim teorijama katastrofe, bila je mala vjerovatnost da se nešto tako desi. Čak i ako zanemarimo ostale fizičke aspekte, šansa da se dvije zvijezde sretnu, čak i u ogromnim vremenskim razmacima, je izuzetno mala. To je toliko rijedak događaj da bi planetarni

sistemi u svemiru bili neka vrsta čuda i njihov broj u čitavoj galaksiji ne bi bio veći od dvadesetak. Mnogobrojne posredne analize, i neka najnovija istraživanja, govore da bi broj planetarnih sistema u svemiru trebao biti daleko veći. Pored ove zamjerke, kod Jeans-ove teorije uočeni su nedostaci u matematskoj osnovi. Pokazalo se da se pomenuti pramen materije nije mogao kondenzirati u planete pod uvjetima koje je Jeans naveo.

Berlage 1930. godine pretpostavlja da iz Sunca izleću ionizirani atomi i druge naelektrizirane čestice koje se



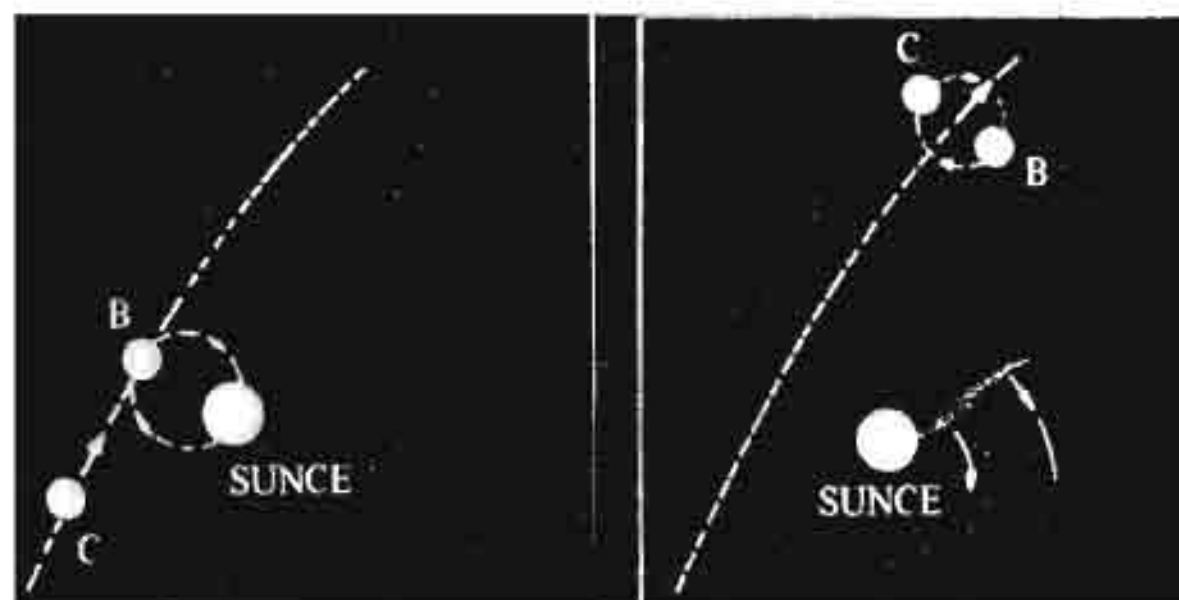
Sl.136 *Berlage-ova teorija o postanku Sunčevog sistema*

zatim kreću spiralnim putanjama u Sunčevom magnetskom polju. To, na kraju, rezultira stvaranjem koncentričnih prstenova plina, iz kojih se, kasnije, kondenziraju planete.

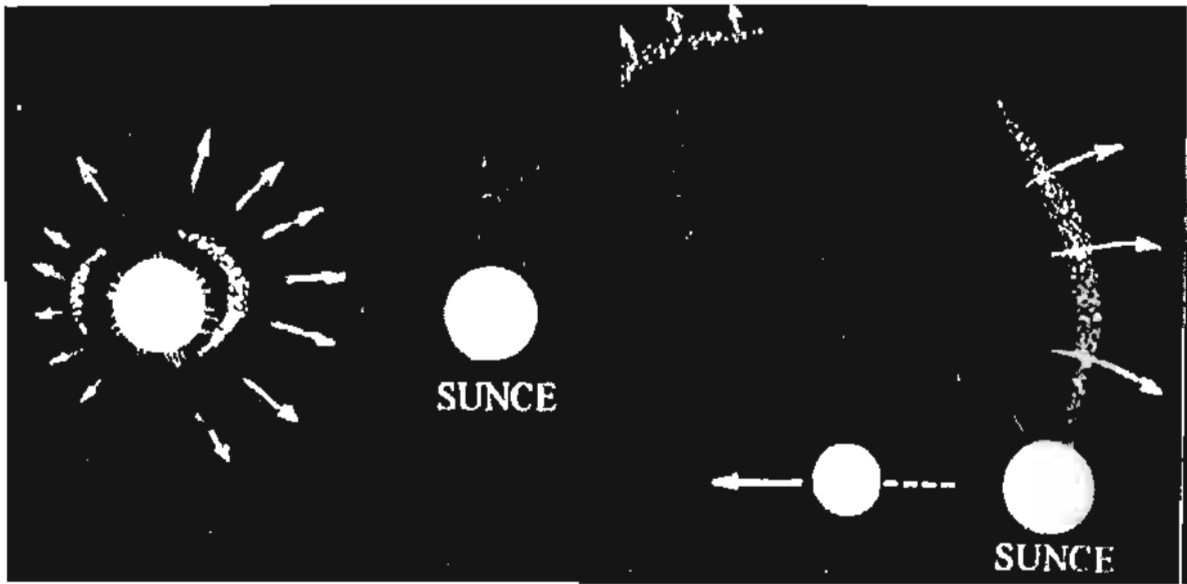
Lyttleton 1936. godine uvodi hipotezu sličnu Jeans-ovoj. Po njemu, Sunce je najprije bilo dvojna zvijezda. Treća zvijezda, na slici 137, približila se i svojom gravitacijom povukla Sunčevog pratioca sa sobom. Pri tome, oko Sunca je ostao mlaz materije iz koga su se formirale planete. Ovim je

dijelom riješena protivrječnost oko momenta količine kretanja planeta koja je postojala kod Jeansa. No, ovaj događaj je još manje vjerovatan, a tu su i nejasnoće oko odlaska Sunčevog pratioca.

U teorije katastrofe ubraja se i **Hoyle**-ova koju je on objavio 1944. godine. On, takođe, polazi od pretpostavke da je Sunce bilo član dvojnog sistema. Ta druga zvijezda je eksplodirala kao nova, odbacujući vanjske slojeve svoje materije. Ta materija se



Sl.137 *Lyttleton-ova hipoteza polazi od loga da je Sunce bilo dvojna zvijezda.*

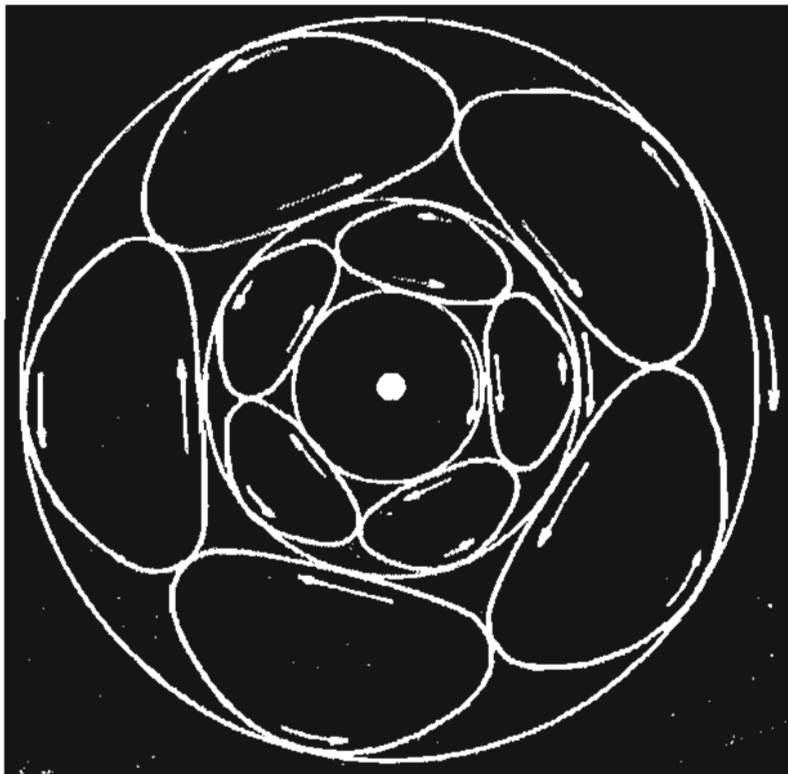


Sl. 138 Hoyle polazi od pretpostavke da je Sunce bilo dvojna i da mu je pratilac eksplodirao

raširila u vidu školjke i dobar dio nje je bio zahvaćen od strane Sunca. Nakon toga se (?!) zvijezda udaljila.

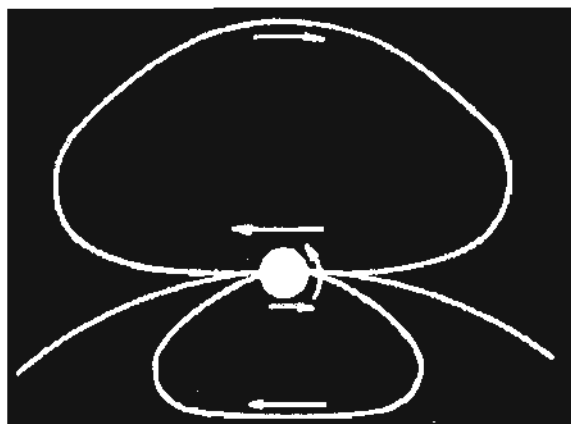
Neuspjeh ovih teorija katastrofe i plimskog djelovanja, naveo je astronome da se ponovo vrate na staru Kant-Lapalceovu teoriju. U nju su unošeni novi elementi. Među najbolje nebularne kosmogonije, koje su nastale prije

direktnih istraživanja Sunčevog sistema, spada ona koju je postavio **Karl Weizsacker**. Po njemu se, najprije, u dalekoj prošlosti, iz haotičnog oblaka materije formiralo Sunce. Ostatak materijala je, u obliku diska prašine i plinova, nastavio da orbitira oko Sunca. U početku su se sve te čestice, sitnije i krupnije, kretale haotično, sudarajući



Sl.139 Formiranje viorastih ćelija prema Weizsacker-u

se međusobno. Vremenom su se ta kretanja regulirala u izvjesnoj mjeri. Po Weizsackeru, čestice i plin su



Sl.140 Formiranje planeta kao rezultat interakcije dvije vrtložne ćelije (Hipoteza Weizsacker-a)

postepeno obrazovali neku vrstu sistema vihorastih ćelija.

U koncentričnim prstenovima oko Sunca, formiralo se po pet vrtloga, u kojima su čestice rotirale po zatvorenoj putanji, a središta tih vrtloga su se istovremeno obrtala oko Sunca. Na mjestima dodira unutarnjih i vanjskih lanaca vrtloga, dolazilo je do sudara čestica. Pri tome su se manje čestice "ukopavale" u veće, pa su dimenzije krupnijih sve brže rasle. Upravo na takvim dodirnim tačkama vrtloga, vremenom se formiraju krupna tijela - planete.

Stalnim sudarima čestica, njihova temperatura raste. Ovim lancima od po pet vrtloga Weizsacker objašnjava Ticius - Bodeovo pravilo o udaljenostima planeta od Sunca. Ako se posmatraju nizovi vrtloga, lako se primjećuje da, poluprečnici uzastopnih graničnih linija koje odvajaju pojedine lance vrtloga, rastu u geometrijskoj progresiji. Poluprečnik svake slijedeće je dva puta veći od prethodne. Nakon stvaranja planeta i ostalih tijela, ostatak materije se raspršio u među-zvjezdani prostor.

Jedan jako razrijeđen dio je ono što zovemo zodijska svjetlost.

Osnovna zamjerka ovoj hipotezi odnosi se na prilično proizvoljno uvođenje vrtloga u prvobitnu maglinu. Takođe, stiče se utisak da su karakteristike pojedinih vrtloga i raspored njihovih lanaca, unaprijed postavljeni kako bi se dobili željeni rezultati.

Gerard Kuiper je, pod dubokim uticajem Weizsacker-a, 1949. godine, postavio sličnu hipotezu. Po njemu, maglina koja je rotirala oko Sunca, postala je vremenom nestabilna i razbila se na manje plinovite oblake. Njih je Kuiper nazvao protoplanetama. Današnje planete su samo centralni ostaci tih protoplaneta, a najveći dio njihove mase "otpuhan" je korpuskularnim zračenjem Sunca. Masa planeta Zemljinog tipa, po njemu, nije se mnogo mijenjala tokom nekoliko milijardi godina. Toplota u njihovim unutrašnjostima nastala je kao posljedica radioaktivnih procesa. Sateliti su se obrazovali na isti način kao i planete. I Kuiper-ova teorija ima nedostataka koji su karakteristični za sve klasične pristupe kosmogoniji.

Sovjetski astronom O.Ju.Šmit je 1943. godine postavio svoju varijantu nebularne hipoteze. Ona se često naziva i meteoroidna. Šmit smatra da je Sunce, pri svom kretanju oko centra galaksije, više puta prolazilo kroz ogromne oblake međuzvjezdane materije. Ovakvi oblaci tamne i svijetle materije koncentrirani su u ekvatorskoj ravni Mliječnog Puta. Jednom prilikom, Sunce je povuklo sa sobom dio te materije. Maglinski oblak je okružio Sunce i formirao se divovski disk materije koji se, zbog djelovanja pritiska svjetlosti, postepeno preobrazio u prsten. Zbog sunčeve toplote, iz

njemu bližih dijelova, isparavali su se laki elementi. Time Šmit objašnjava malu zastupljenost tih elemenata u sastavu unutrašnjih planeta. Suprotno tome, vanjske planete imaju ogromne količine plinova poput vodika i helija jer su dalje od Sunca, pa ih njegova toplota nije mogla raspršiti.

Stalnim sudarima, čvrste čestice su se međusobno slijepljivale. Svako veće tijelo je, poput kotrljajuće grudve snijega, raslo i masa mu se povećavala. Tako su se, po ovoj hipotezi, planete formirale u hladnom stanju. Zagrijavanje unutrašnjosti pojedinih tijela nastalo je kao produkt radioaktivnog raspada teških elemenata. Topljenjem unutrašnjosti svi teški elementi išli su ka središtu, a lakši prema površini.

Ispitivanje hemijskog sastava meteoritske materije pokazuje da ona, dobrim dijelom, ima sličnosti sa građom Zemaljskih stijena. Tokom vremena, najveći dio meteoroidske materije, koja je bila blizu Sunca, pao je na njega, pa je, zato, za formiranje unutrašnjih planeta ostalo manje materijala nego za vanjske.

Iako je ova hipoteza, u početku, imala uspjeha i ona je doživjela sudbinu svojih prethodnika. Najviše je kritikovan zahvat materije od strane Sunca. Iako je, kao ideja, ovaj zahvat bio jedan originalniji pristup, većina astronoma je bila mišljenja da je vjerovatnost da do njega dođe, jako mala. Pored toga, ozbiljne primjedbe odnose se na nemogućnost Šmitove hipoteze da objasni raspored planeta oko Sunca, te druge zapažene zakonitosti i pojave.

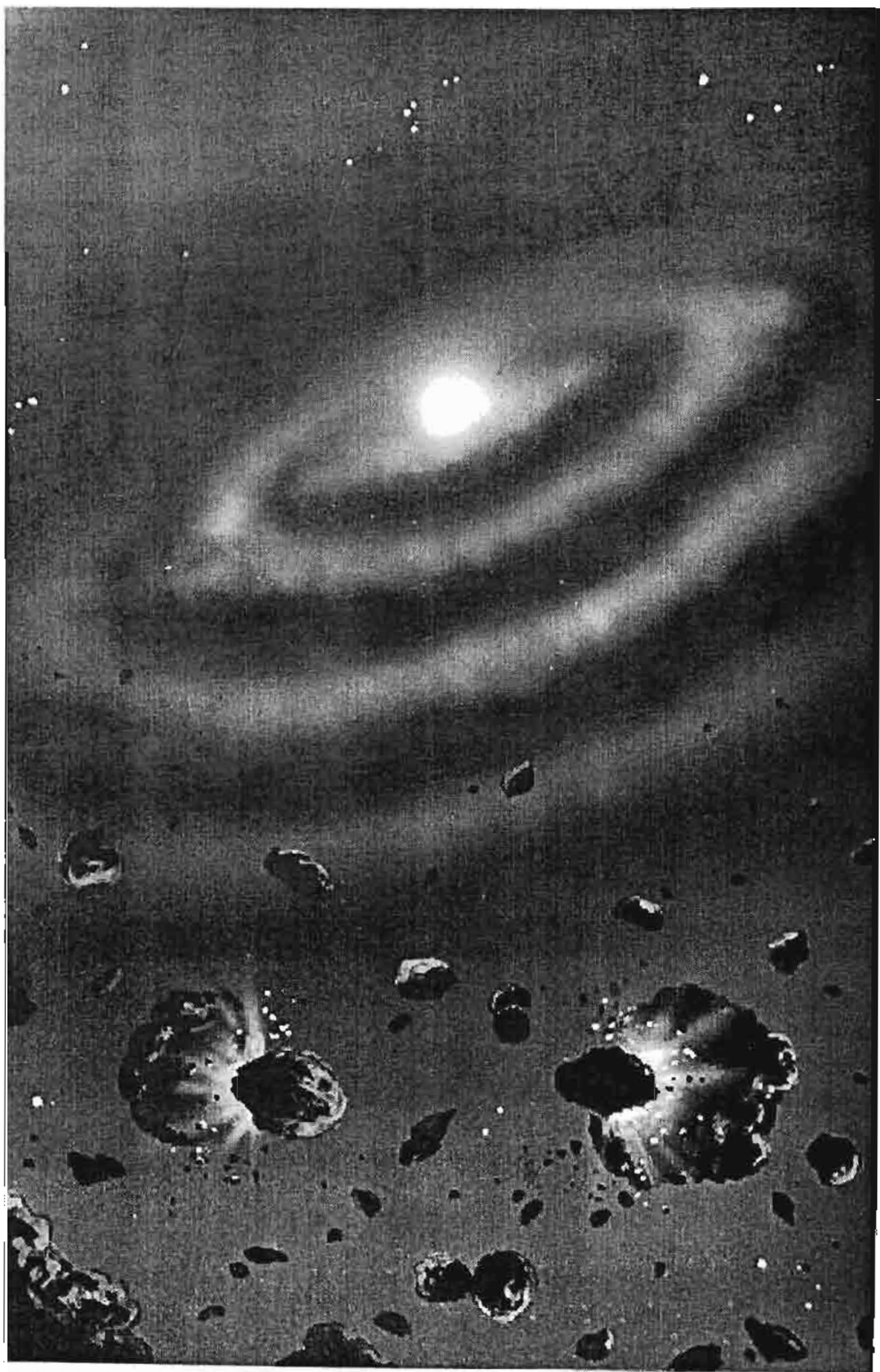
Sve ove klasične hipoteze uglavnom nisu uzimale u obzir djelovanje električnih i magnetskih sila. Jedino je Berlage-ova teorija govorila o tome.

Švedski astrofizičar **Hans Alfvén** razradio je hipotezu u kojoj je Sunčev sistem nastao uglavnom pod djelovanjem elektromagnetnih sila. Po njemu, neutralni atomi oko Sunca, postepeno su se ionizirali i to usljed međusobnih sudara i djelovanja sunčevog korpuskularnog zračenja. Te naelektrizirane čestice slijedile su, u svom kretanju, silnice magnetnog polja Sunca. Tako se oko njega obrazovao prsten materije. Prema ovoj hipotezi proizilazi, pored ostalog, da bi unutrašnje planete trebale imati više lakih elemenata od vanjskih. Znamo da to nije slučaj.

Moderni pogled na nastanak Sunčevog sistema

Novija astrofizička istraživanja i rezultati međuplanetarnih letova, u nekim aspektima su rehabilitirali Kant - Laplace-ovu teoriju. Prije svega, danas znamo da mlade, tek rođene zvijezde, rotiraju veoma brzo. Također se zna da je međuzvezdani prostor ispunjen ne samo plinom, već i česticama tvrde materije. Infracrvena posmatranja otkrila su postojanje diskova tamne materije oko nekih mladih zvijezda kao što su Vega, Pictoris itd.

Mogući scenarij nastanka Sunčevog i drugih planetskih sistema, prema savremenim pogledima, izgledao bi ovako. Prije oko 4,5 milijarde godina počelo je sažimanje jednog lokalnog oblaka prašine i plinova. Poticaj za ovo skupljanje mogao je doći od udarnog vala nakon eksplozije neke bliske supernove zvijezde. Kada je sažimanje počelo, sila gravitacije postala je dominantna. Oblak se postepeno razbio na više dijelova koji su izgledali kao rotirajuće grudve



Sl.141 Sudarima ogromnog broja grudvi materije postepeno se obrazuju veća tijela

materije. U središnjim oblastima nekih od tih grudvi, padom materijala i pritiskom, došlo je do porasta temperature i otpočinjanja nuklearnih reakcija. Tako se rodila grupa zvijezda, a jedna od njih je i Sunce. Oko njega je ostalo dovoljno materije u vidu prašine i plinova koja se, zbog rotacije centralnog tijela, rasporedila u vidu tankog diska. To je ono što nam predstavlja ravan ekliptike. Prečnik ovog divovskog diska iznosio je više milijardi kilometara.

Postepeno, u disku se pojavljuju veći grumenovi materije stjenovite građe. Milijarde ovakvih grudvi, krećući se oko Sunca, neprekidno se sudaraju. Nekada se sudari završavaju potpunim raspadom oba tijela, a nekada se one međusobno sljepljuju povećavajući svoju masu.

Savremene kompjuterske simulacije, koje polaze od nekih zadanih uvjeta u prvobitnoj maglini, pokazuju da se nakon dovoljno dugog vre-menskog intervala, od velikog broja gromada formira manji broj izrazito krupnih tijela.

Bliže Suncu, dolazi do obrazovanja planeta sa čvrstom korom. Merkur se, u toj davnoj prošlosti, nalazio na udaljenosti gdje je sada Mars. Bio je i većih dimenzija. Među-tim, udar jednog velikog tijela pomjerio ga je ka Suncu. Pri tome je Merkur izgubio najveći dio svog vanjskog stjenovitog omotača. Venera je takođe pretrpjela sudar kojim je usporena njena rotacija. Naša Zemlja je doživjela još veću katastrofu. Tijelo veliko poput Marsa udarilo je u nju. Pri tome se bukvalno zabilo u Zemlju i izazvalo erupciju vrućih plinova iz središnjih oblasti planete. Taj plin se

odmah ohladio i preša o u čvrsto stanje gradeći čestice različitih dimenzija. One su formirale prsten oko Zemlje i na sličan način koji smo opisivali, nastao je Mjesec.

Dalje od Sunca, gdje su temperature bile niže, formirale su se grudve nešto drugačijeg sastava. Radilo se o mješavini zrnaca čvrste materije i smrznutih plinova. Takve konglomerate astronomi nazivaju "prljave grudve snijega".

Sudarajući se, ove grudve su se spajale, gradeći velika tijela. Prvo se formirao Jupiter koji je zagrabio najveći dio materijala. Kada mu je masa postala veća od 20 masa Zemlje, Jupiter je počeo da privlači i lake elemente, poglavito vodik i helij. Na kraju je stvoreno golemo tijelo čija je masa 318 puta veća od Zemljine.

Negdje u to vrijeme, mlado Sunce je počelo da mijenja sjaj kao nestabilna zvijezda. Ti procesi su doveli do odbacivanja plinovitog oblaka u međuzvjezdani prostor uslijed pojačanog sunčevog vjetra, odnosno pritiska zračenja. Zato su masa i gustina Saturna i drugih dalekih planeta, manji.

Uran je, negdje u to vrijeme, doživio udar divovskog tijela i zbog toga mu osa rotacije leži ispod ravni ekliptike. Pluton je ostao "prljava grudva snijega" (najsličniji jezgrima kometa) zbog niskih temperatura koje vladaju na tim udaljenostima od Sunca. Oort-ov kometni oblak se također uklapa u okvire ovakvog pristupa.

Temperature u unutrašnjostima pojedinih planeta, objašnjavaju radioaktivnim raspadom (fisijom).



Sl.142 *Nastanak Mjeseca udarom divovskog tijela u Zemlju*

3. OSNOVNI ASTRONOMSKI INSTRUMENTI I METODE ISTRAŽIVANJA

ELEKTROMAGNETSKI SPEKTAR

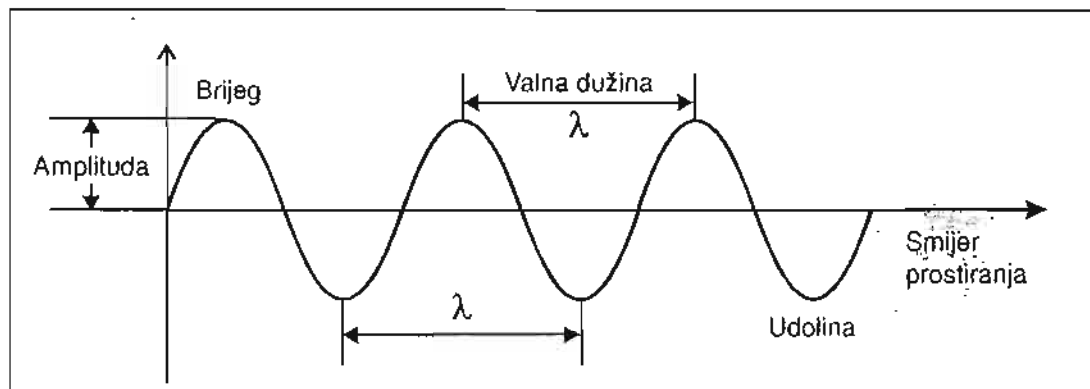
Naša planeta je u svakom trenutku izložena bezbrojnim elektromagnetskim valovima (zračenjima), raznih vrsta. Ova dualnost val - čestica poznata je iz fizike i, ne ulazeći u detalje, trebamo prihvatiti da nam je nekada zgodnije da neke dijelove elektromagnetskog spektra tretiramo kao valove, a druge kao struju čestica koje zovemo fotonima. Pri tome fotone razmatramo kao čestice određene energije. Naša komunikacija sa svemirom se uglavnom odvija putem elektro-

magnetskog spektra u kome je vidljiva svjetlost, samo jedan mali dio sveukupnih valova ili zračenja, koja dopiru od raznih tijela i pojava.

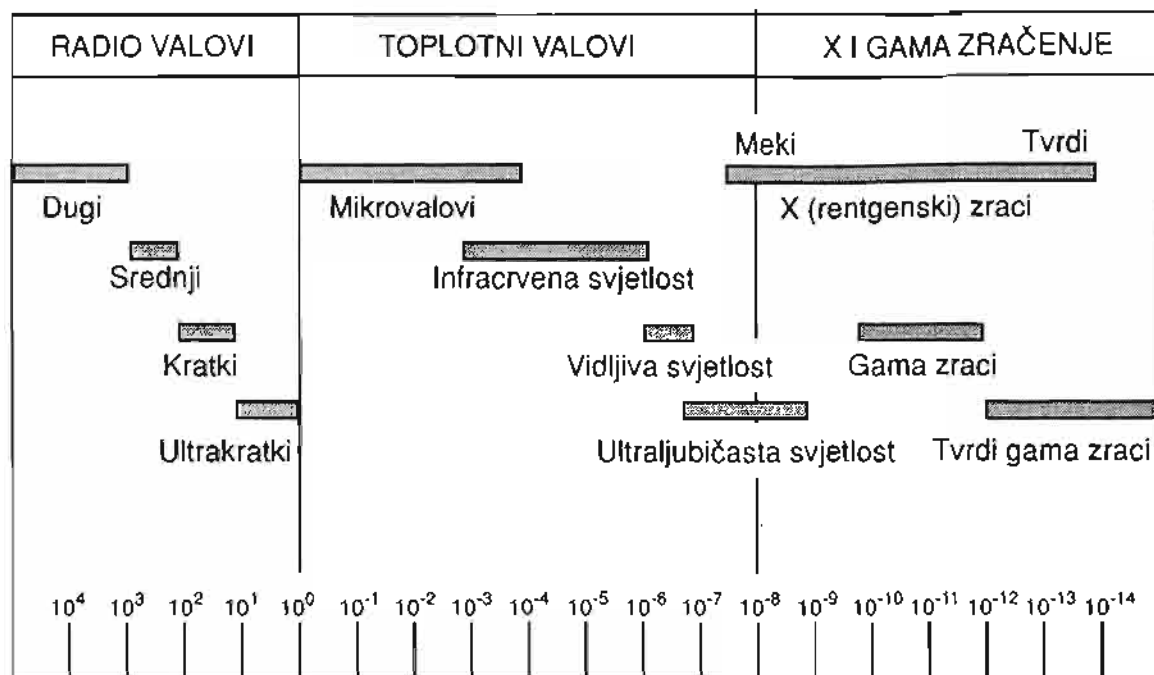
Kada elektromagnetsko zračenje posmatramo kao valnu pojavu, tada možemo da ga definiramo preko valne dužine ili frekvencije. Valna dužina predstavlja razmak između dva uzastopna brijega vala ili dvije uzastopne udoline vala (slika 143). Frekvencija je broj valova koje neki izvor šalje u jedinici vremena (sekundi).

Iz fizike poznajemo relaciju:

$$v = \frac{c}{\lambda}$$



SI.143 Uz definiciju valne dužine



Sl. 144 Opšta shema elektromagnetskog spektra

Ovdje je c brzina prostiranja elektromagnetskog vala u vakuumu. Iz relacije direktno proizilazi da valovi kraćih valnih dužina imaju veće frekvencije, i obratno. Elektromagnetski spektar se pruža na velikom rasponu valnih dužina od 10^{-14} m do 10^4 m. Sva ova zračenja ne dopiru do površine Zemlje jer njena atmosfera upija većinu od njih. Slobodno, u većoj ili manjoj mjeri, prodiru samo vidljiva svjetlost i radio-valovi. Ostali elektromagnetni valovi su u velikoj mjeri, ili u potpunosti, blokirani. Na slici 144. dat je shematski prikaz elektromagnetskog spektra, po valnim dužinama, odnosno frekvencijama.

RAZVOJ TELESKOPA

Povjest astronomije nam govori da je vidljiva svjetlost ili, kako se to još kaže, optički dio elektromagnetskog spektra, bila prva stepenica prema oceanu zračenja koja ispunjavaju

svemir. Pri tome je, kroz zakone optike i slučajnim otkrićima, došlo do razvoja teleskopa i niza drugih astronomskih uređaja, vezanih za vidljivu svjetlost.

Holandskom optičaru, **Hansu Lippersheyu**, pripisuje se konstrukcija prvog teleskopa. Legenda kaže da su "magičnu cijev", kako se to tada zvalo, otkrila njegova djeca igrajući se sa lećama iz očeve radionice. Bilo kako bilo, vijest o otkriću se proširila Evropom i 1609. godine došla i do **Galileo Galileja**. Ovaj italijanski fizičar odmah je napravio sebi jedan teleskop. Za razliku od drugih, on je svoj instrument okrenuo ka nebu i tako započeo eru teleskopske astronomije. Svojim teleskopom on je posmatrao Jupiter i uočio njegove satelite. Otkrio je takođe da Mjesec nije savršeno polirana kugla, kako je uočio Aristotel. Galilej posmatra i faze Venere i ustanovljava činjenicu da se Mliječni Put sastoji od ogromnog broja zvijezda slabog sjaja.

Kepler je 1611. godine napravio prvu varijaciju originalne Lippershey-eve konstrukcije. Kepler je uveo

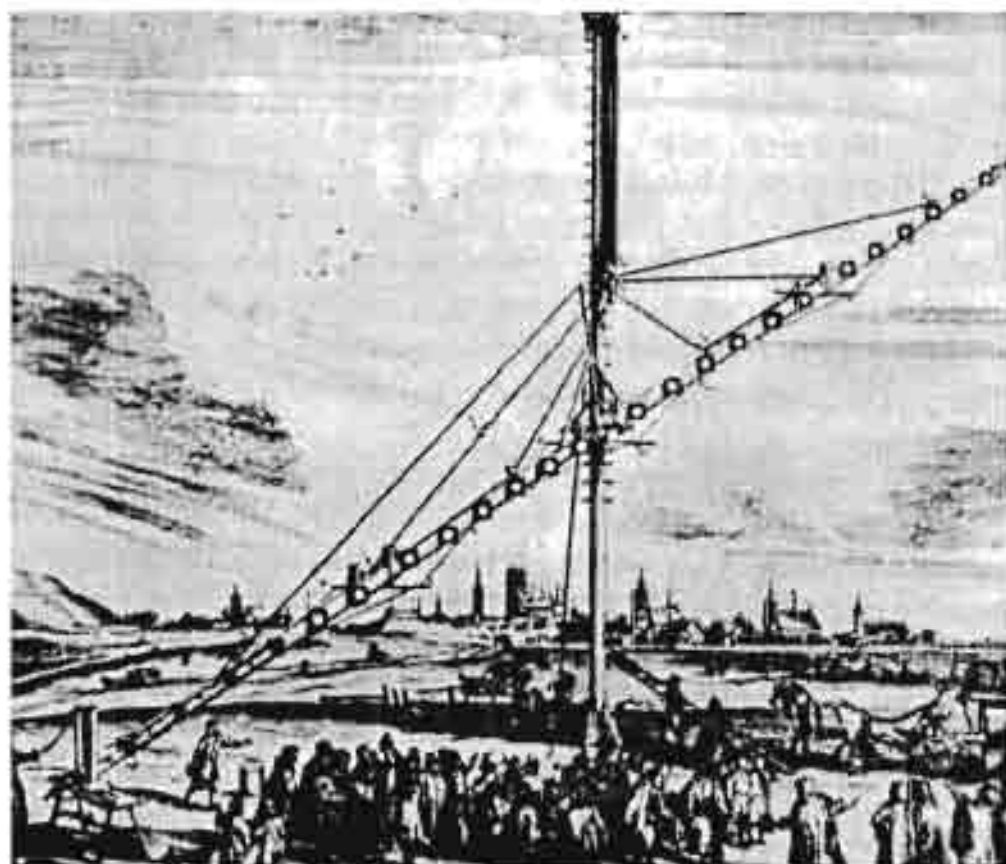
bikonveksnu leću umjesto bikonkavne koja je služila kao okular.

Ovi rani teleskopi su "bolovali" od brojnih nedostataka, a posebno je bila jaka hromatska aberacija, tj. obojenje likova zbog različitog prelamanja pojedinih vrnih dužina svjetlosti. Zato se, nakon prvog oduševljenja, pristupilo daljem usavršavanju teleskopa. **William Gascoigne** je 1630. godine u fokusnoj ravni fiksirao par unakrsno postavljenih niti kako bi olakšao tačno pozicioniranje teleskopa. Ovaj pronalazak nije bio šire poznat sve dok ga 1665. godine nije ponovo oživio **Picard**. Njegov značaj je bio u tome, što je preciznost i najmanjeg instrumenta postala desetak puta veća od preciznosti koja se mogla postići bez optičkog pomagala.

Već spomenuti problemi sa hromatskom aberacijom vodili su konstrukcijama teleskopa sa dugim fokusnim

rastojanjima. Korišteni su veliki jarboli i čitav sistem poluga, utega i užadi, kako bi se teleskop mogao usmjeriti u željenom pravcu. Tako je instrument **Johannesa Heveliusa**, iz druge polovine 17. stoljeća, bio dug oko 40 metara (slika 145).

Oko 1660. godine, **Isaac Newton** je predložio jednu drugačiju moguću konstrukciju teleskopa. On je načinio prvi teleskop sa ogledalima - reflektor. Ovaj prvi Newtonov teleskop bio je malih dimenzija i imao prečnik 3,5 cm i fokus 16,5 cm. Glavno ogledalo je bilo izrađeno od metala i izdubljeno u konkavni paraboloid. Za slanje svjetlosnih zraka prema okularu, korišteno je malo ravno ogledalo. **James Gregory**, škotski matematičar, uvodi negdje u to vrijeme svoju verziju reflektora kod koga sekundarno ogledalo ima oblik konkavnog elipsoida. **G. Cassegrain**, francuski vajar i ljubitelj



Sl.145 Teleskop J. Hevelius-a

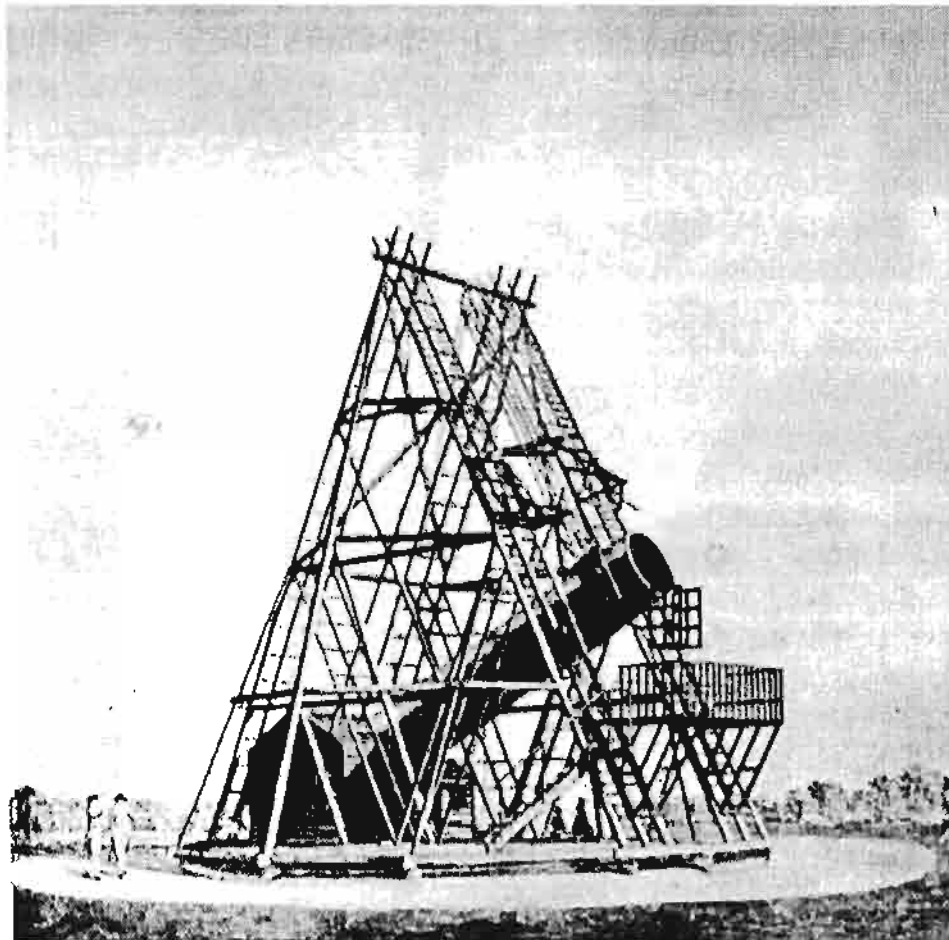
astronomije, 1672. godine, razvija teleskop reflektor sa konveksnim hiperboloidnim sekundarnim ogledalom. Ovaj tip teleskopa, poznat kao Cassegrain-ov, održao se do danas i predstavlja jedan od osnovnih sistema svih modernih teleskopa.

Kvalitetnija slika koju su davali reflektori, dovela je do toga da su refraktori neko vrijeme bili potisnuti. No, 1755. godine, **John Dolland**, proizvodi prvi ahromatski dublet, tj. objektiv građen od dvije leće sa različitim vrstama stakla. Time se veoma uspješno vršila korekcija hromatske aberacije.

Značajan doprinos razvoju teleskopa dao je i **William Herschel** koji je, samostalno, pored astronomskog rada, izrađivao reflektorske instrumente. Njegov najveći teleskop imao je

prečnik od 120 cm. Dugo vremena je predstavljao najveći astronomski instrument, ikada napravljen. 1845. godine, **William Parsons**, poznatiji kao lord **Ross**, konstruirao je divovski teleskop prečnika 180 cm.

Ovi rani reflektori imali su metalna ogledala koja nisu mogla da pruže visok kvalitet refleksije, a posebno su bila podložna uticaju temperaturnih promjena koje izazivaju širenje ili skupljanje. Pri tome se mijenjala krivina ogledala i, samim tim, fokusno rastojanje. Također, tadašnji nivo mehanike, nije dozvoljavao konstruiranje velikih i dovoljno kvalitetnih montaža koje bi nosile teleskope. Sve ovo vodilo je ponovnom povratku na refraktore koji tako svoj vrhunac doživljavaju u 19 stoljeću. **Josef Fraunhofer** je počeo da pravi izuzetno



Sl. 146 Teleskop prečnika 120 cm koji je napravio W. Herschel.

ravni koja prolazi kroz tačku F_1' . Taj lik je obrnut, realan i umanjen. Okular je postavljen tako da se njegov prednji fokus F_2 podudara sa fokusom F_1' . On uvećava lik M' i obrazuje imaginarni, obrnuti i uvećani lik predmeta M'' .

Uvećanje teleskopa se definiše preko uglova u i u' . Lako je pokazati, iz sličnosti trokutova, da se uvećanje teleskopa može izraziti kao:

$$M = \frac{u'}{u} = -\frac{f_1}{f_2}$$

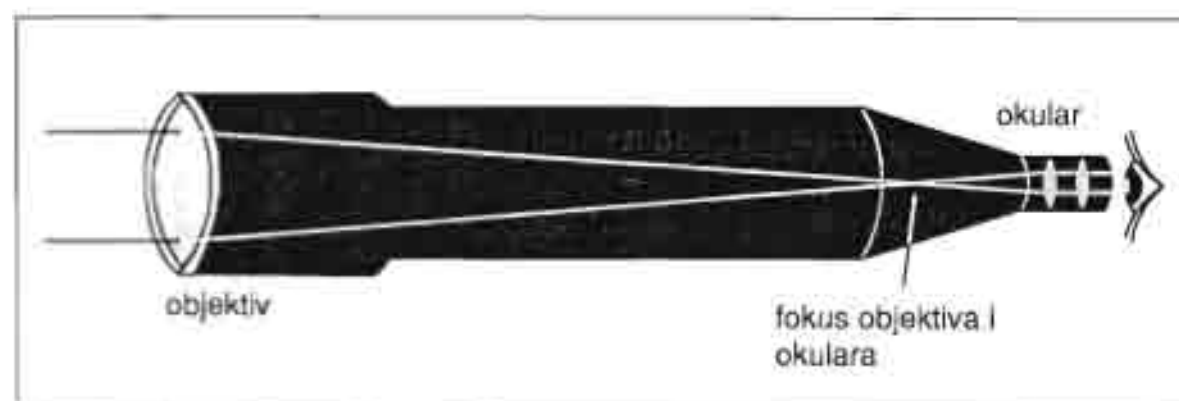
Znak minus označava da je slika obrnuta. Znači, jednim istim teleskopom možemo dobiti različita uvećanja koja zavise od fokusnih rastojanja okulara. Naravno, postoje neke optimalne granice tih uvećanja. Korištenje suviše velikih uvećanja kod teleskopa malih prečnika i kratkih fokusnih rastojanja, nema svrhe, jer slika postaje mutna, a dosta svjetlosti se izgubi pre prelamanju i refleksijama unutar sočiva okulara. Za postizanje većih uvećanja, kod teleskopa određenog fokusnog rastojanja, bolje je upotrijebiti tzv. **Barlow leću**. To je obično dublet koji zajedno predstavlja divergentnu leću i postavlja se ispred okulara. Ona optički produžava fokusno rastojanje objektiva za potreban broj puta. Obično je to 2 do 3 puta.

Okulari se sastoje od kombinacije dva ili više sočiva. Mogu biti različitih namjena i kvaliteta. U suštini, okulari su lupe poboljšanog kvaliteta kojima uvećavamo sliku koju daje objektiv.

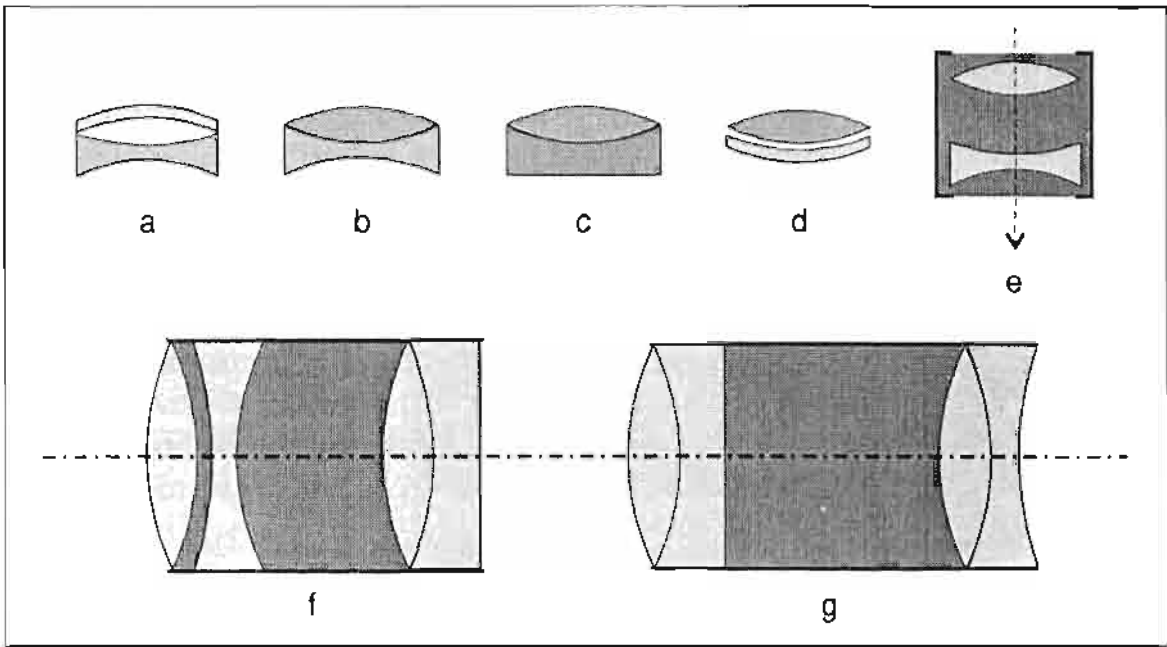
U praktičnoj upotrebi najčešće su korišteni objektivni koji se sastoje od dva sočiva, a ponekad i više. Postoji više tipova objektivna i kod svih se biraju stakla tipa "**crown**" i "**flint**" kako bi se otklonila hromatska aberacija. Njihove druge karakteristike otklanjaju ostale optičke aberacije. U nizu slika 149. prikazani su neki od najčešće upotrebljavanih objektivna za teleskope refraktore.

Za vizuelna posmatranja, veći refraktori su obično imali Clark-ove objektivne (objektiv e na sl. 149). Takve objektivne posjeduju refraktori u Pulkovu (0,76 m), Opservatoriji Lick (0,91 m) i opservatoriji Yerkes (1,02 m). Ovaj posljednji je ujedno i najveći refraktor koji je ikada napravljen.

Petzval, 1840. godine, uvodi u astronomiju svoj dublet (f). Taj objektiv je bio proračunat da daje kvalitetnu sliku za fotografska snimanja. U astronomiju je uveden kao astrografski dublet. Sve aberacije su kod njega dosta dobro ispravljene, a astigmatizam smanjen u znatnoj mjeri. Vidno polje mu najčešće iznosi od 5° - 10° .



Sl.148 Teleskop refraktor



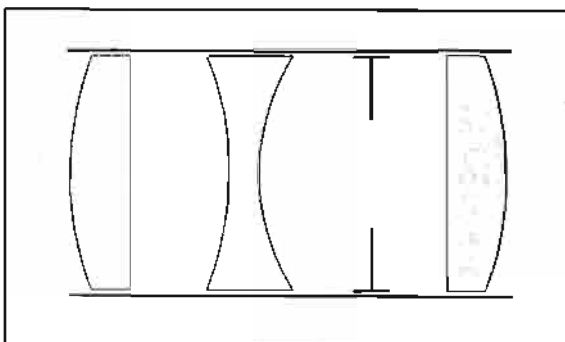
Sl.149 Osnovni tipovi objektivna teleskopa refraktora

1894. godine, uvode se objektivni građeni od tri leće. Najkvalitetniji su bili **Cookeovi tripleti**, kasnije doradjeni od strane **Taylora i Hobsona**. Korišteni su za potrebe astrofotografije. To su anastigmatski objektivni kod kojih su sve aberacije dobro korigovane. Astronomska opservatorija u Sarajevu posjedovala je dvostruki astrograf sa ovim objektivima.

Kasnije se išlo na uvođenje objektivna od četiri i više sočiva. Najpoznatiji ovakvi sistemi su **Zeiss Tessar**, **Dagmar**, **Ross** itd.

Teleskopi reflektori

Teleskopi reflektori imaju brojna preimućstva nad refraktorima. Ovdje

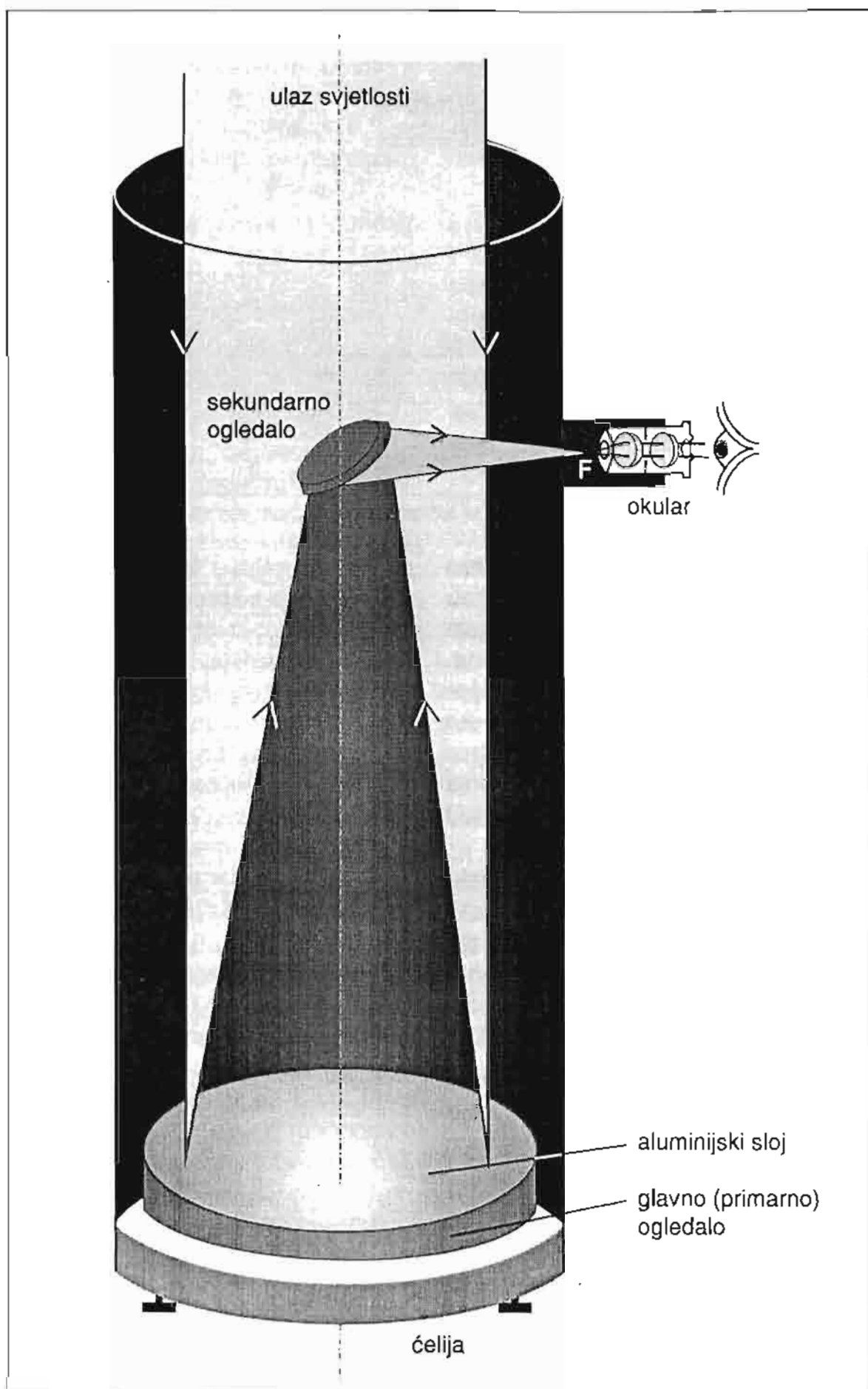


Sl.150 Cooke-ov triplet

se kao objektivni koriste staklena ogledala koja su brušenjem udubljena na određeni oblik, obično paraboloidni. Sa te strane su prevučena aluminijumskim reflektivnim slojem koji se nanosi u posebnim vakuumskim komorama. Za ogledala se biraju stakla sa što manjim koeficijentom termičkog širenja. Dugo se koristilo tzv. pirex staklo, a u posljednjoj deceniji sve više se upotrebljavaju keramička stakla kod kojih je ovaj koeficijent veoma mali.

Osnovni tip reflektora, posebno raširen kod amatera, je **Newton-ov**. Takav teleskop ima na jednom kraju cijevi (tubusa) glavno ili primarno ogledalo paraboloidnog oblika. Svjetlosni zraci se fokusiraju ka malom pomoćnom ili sekundarnom ogledalu koje je ravno, ali isječeno u oblik elipse. Zbog toga se ono, postavljeno pod uglom od 45°, preslikava u krug i vodi svjetlost do okulara kojim se posmatra.

Danas je, posebno kod velikih teleskopa, u širokoj upotrebi **Cassegrain-ov** tip reflektora. On ima probu-



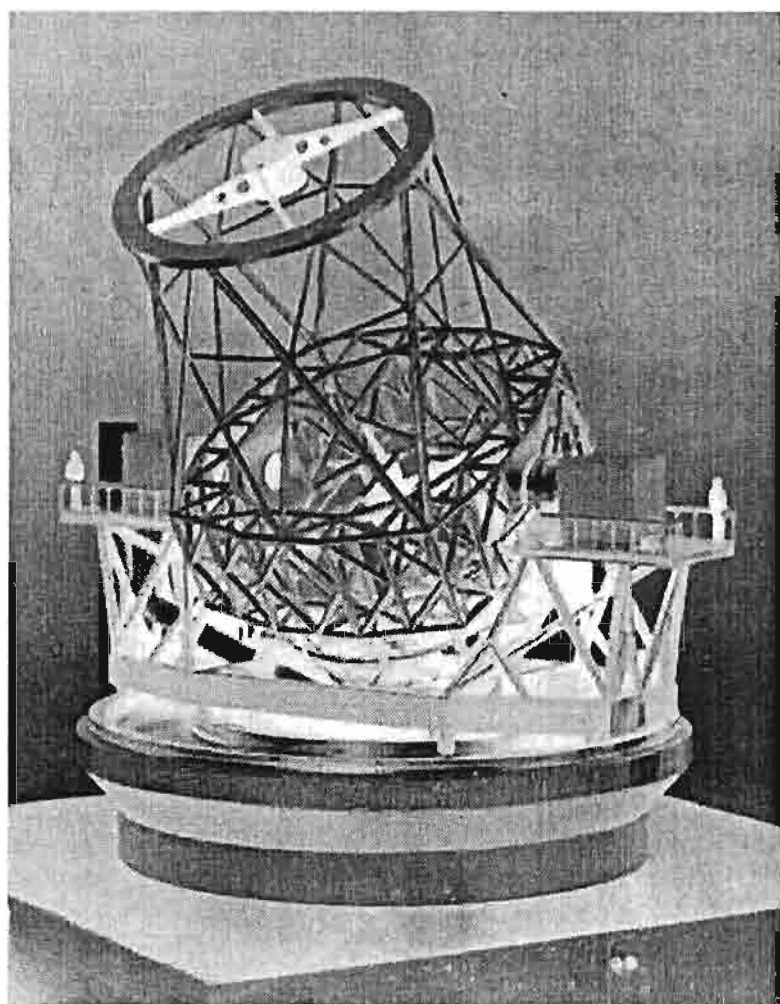
Sl.151 Shema hoda svjetlosnih zraka kod Newton-ovog teleskopa

šeno primarno ogledalo paraboloidno izdubljeno, a sekundarno mu je konveksno hiperboloidnog oblika. Žarišna daljina primarnog ogledala je mala, ali je sekundarno ogledalo produžava za potreban broj puta.

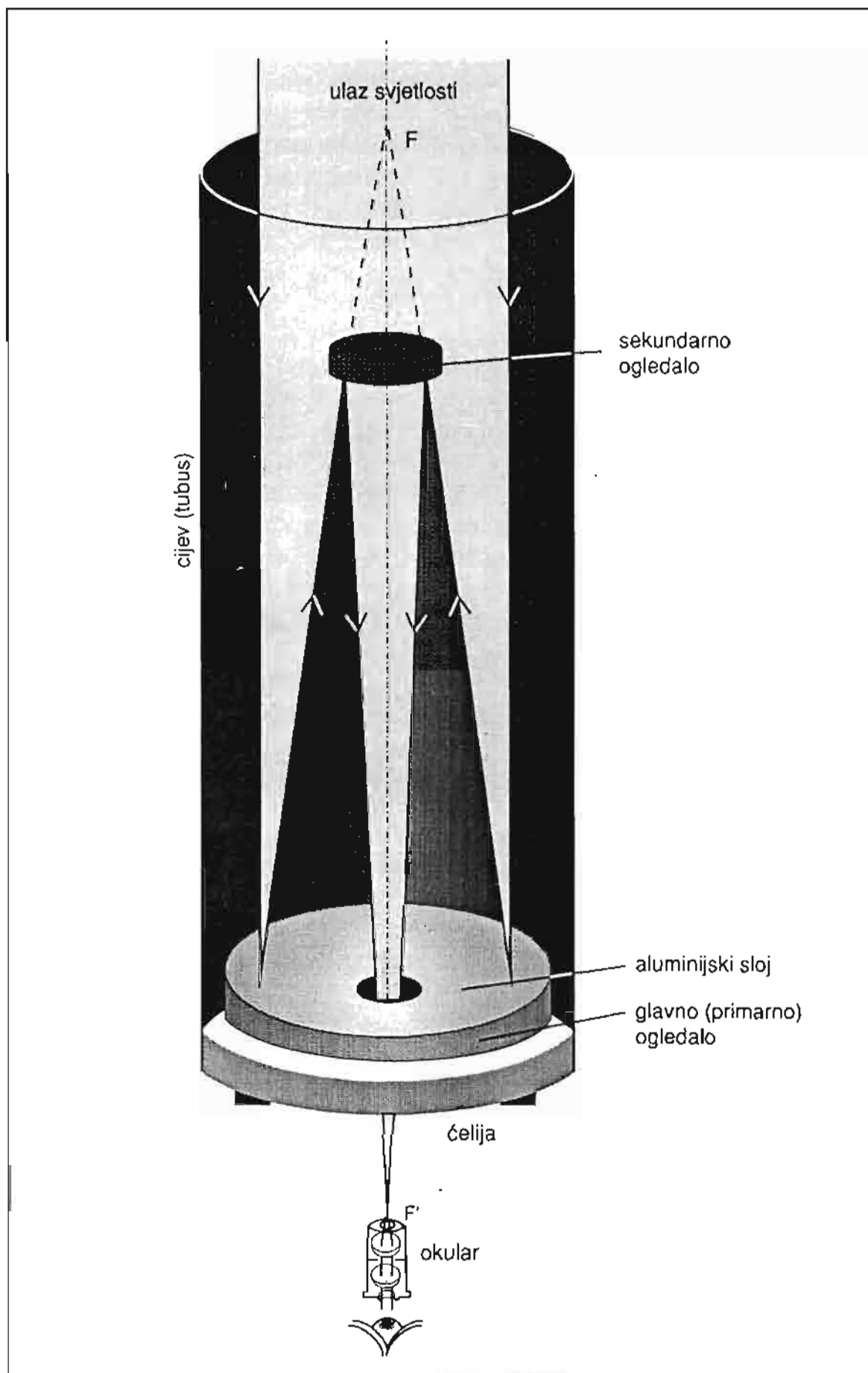
Veliki reflektori obično imaju istovremeno i Casegrain-ove i Coude-ove optičke sisteme. **Coude sistem** omogućava da se fokus, sistemom ogledala, dovede kroz polarnu osu do posmatrača. Na taj način, okularni dio ostaje nepokretan, dok se teleskop može slobodno kretati prateći određeni objekat.

Ovi klasični reflektori, kod kojih je primarno ogledalo paraboloidne forme, imaju veoma malo vidno polje i to,

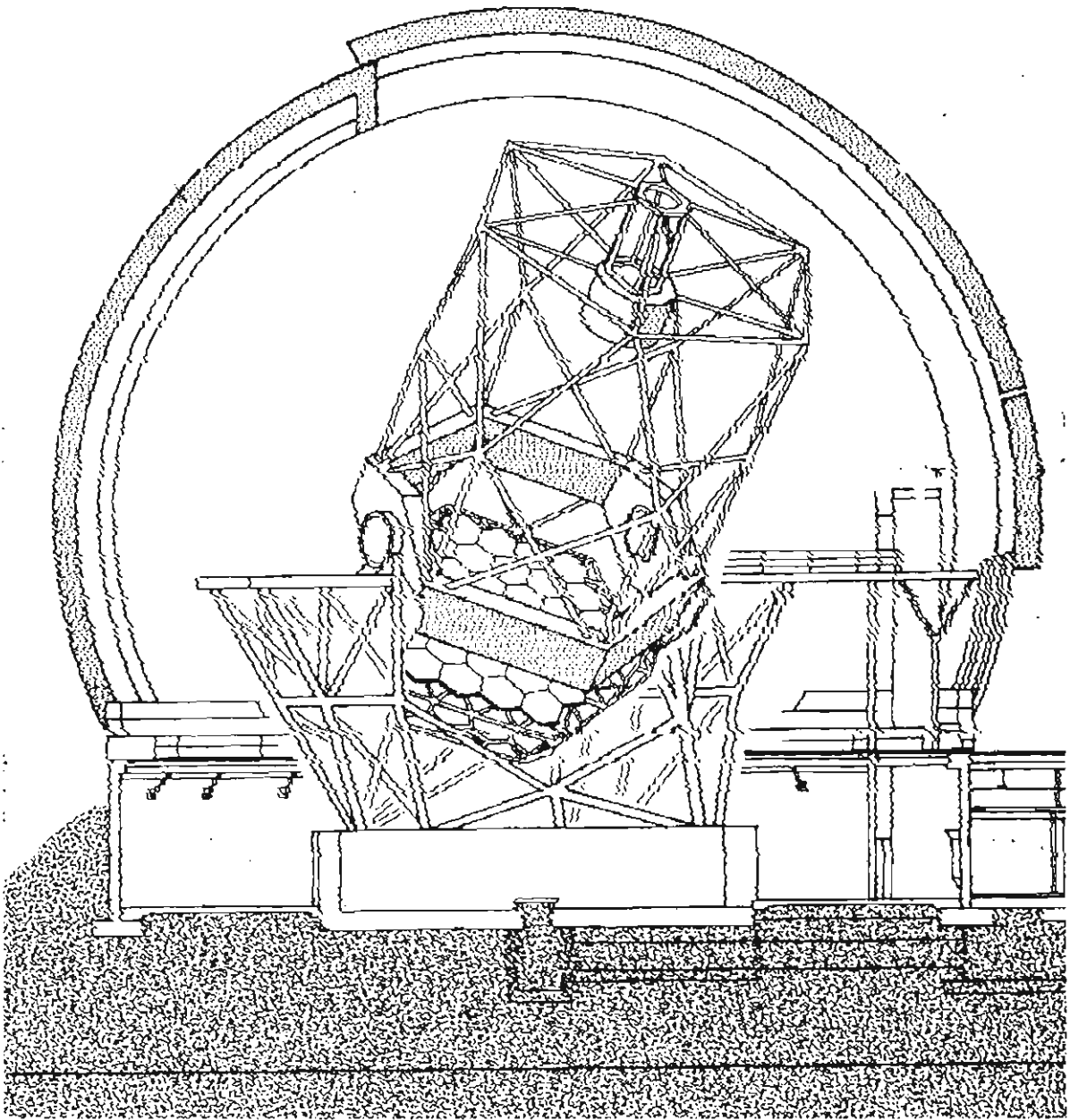
prvenstveno, zbog sferne aberacije i kome. Zbog toga nije bilo moguće koristiti ovakve instrumente za snimanje većih površina na nebu. Takva situacija nametnula je potrebu konstruiranja posebnih sistema koji bi otklanjali ove optičke nedostatke. Danas je za ove svrhe veoma rasprostranjena upotreba optičkih sistema **Ritchey - Chretien**. Kod ovakvih teleskopa glavna ogledala nisu paraboloidna, odnosno sekundarna hiperboloidna, već su izbrušena na nešto drugačije oblike. Korisno vidno polje je povećano, a kvalitet slike znatno bolji. Zvijezde se na snimcima pojavljuju nedeformirane. Ovi i njima slični sistemi, nazivaju se aplanatskim.



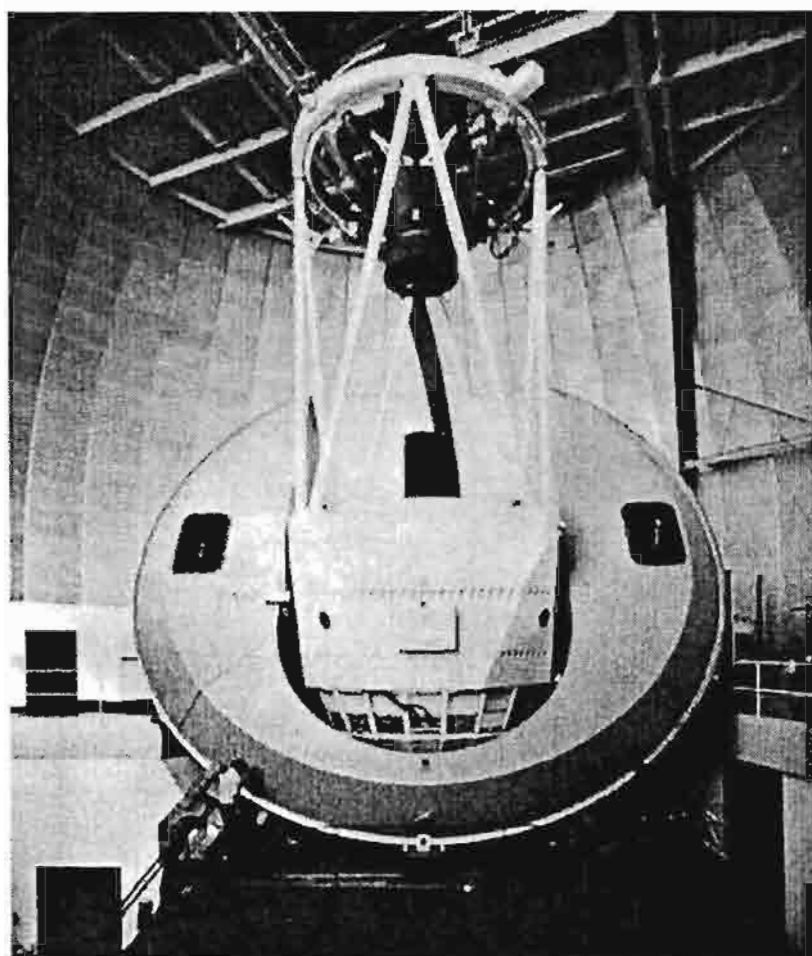
Sl.152 Teleskop prečnika 8,2 m (jedan od četiri u sistemu "Very large Telescope") Južne evropske opservatorije u Čileu.



SI.153 Shema hoda svjetlosnih zraka kod Cassegrainovog teleskopa



SI.154 Crtež Keck-ovog teleskopa prečnika 9,82 metara. Glavno ogledalo je segmentnog tipa i sastoji se od 36 pojedinačnih šestouglovnih ogledala prečnika po 1,8 metara. Teleskop ima ekstremno kratak fokus (17,5 m), a postavljen je na vrhu Mauna Kea (Havaji). Kasnije je postavljen još jedan istog prečnika nazvan Keck II.



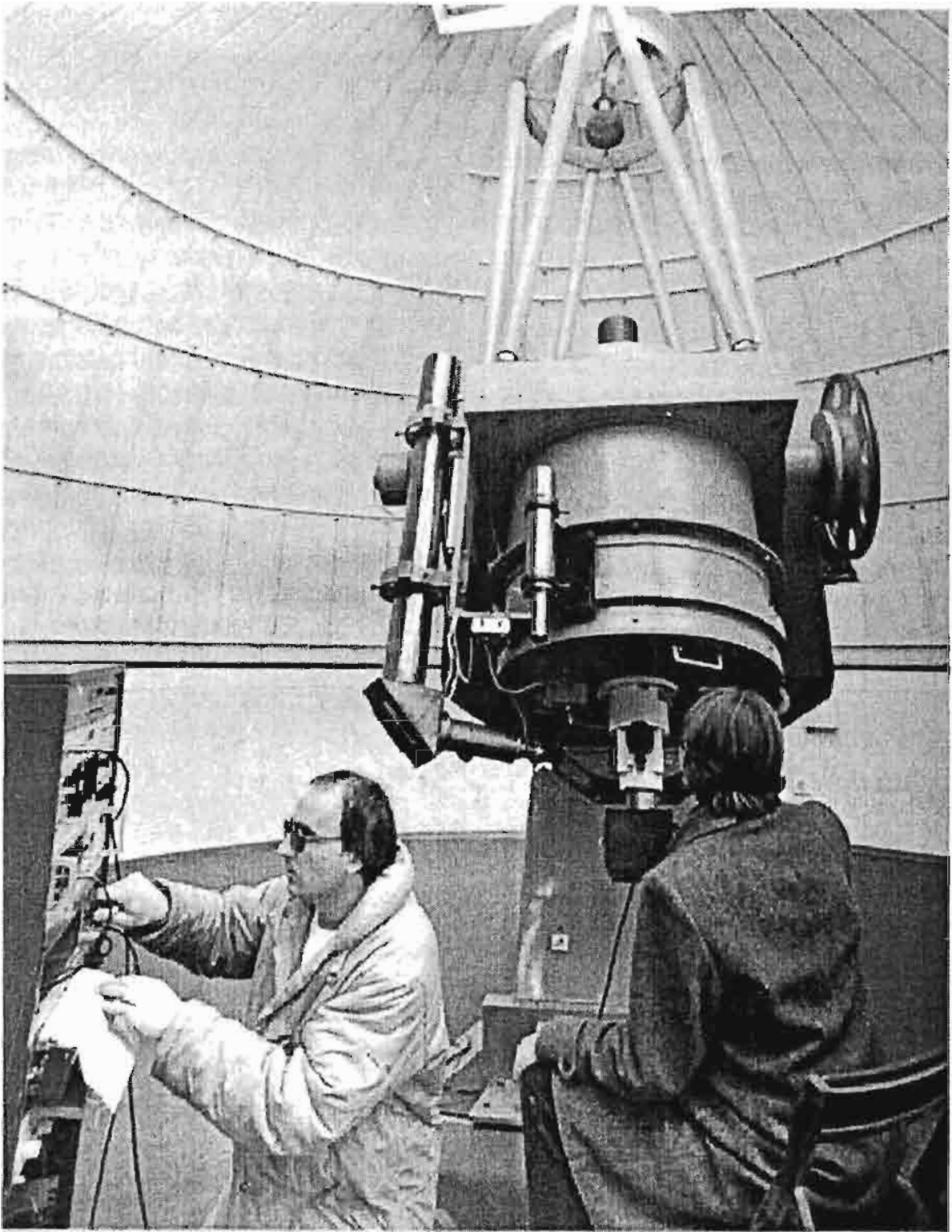
Sl.155 Reflektorski teleskop prečnika 3,8 metara opservatorije Kitt Peak u USA

Reflektorsko-refraktorski sistemi

Već smo naznačili da se u modernoj astronomiji najviše koriste teleskopi reflektori. Pominjali smo i dosta velike aberacije, posebno sfernu. Vremenom se došlo do spoznaje da se ta, i neke druge aberacije, može ukloniti uvođenjem korekcionih leća. Danas su u upotrebi dva osnovna tipa ovih kombiniranih teleskopa. To su **Schmidt-ov** i **Maksutov-ljev**. Schmidt kamera se pojavila tridesetih godina našeg stoljeća. Ispred primarnog ogledala postavljena je korekciona leća posebnog oblika. Jedna strana joj je ravna, a druga, gledana sa strane, ima valovit oblik. Korekciona leća, svojom sfernom aberacijom, koja je

suprotna od aberacije ogledala, u potpunosti osigurava da upadni snop zraka, nakon odbijanja, padne gotovo u jednu tačku (Sl.157).

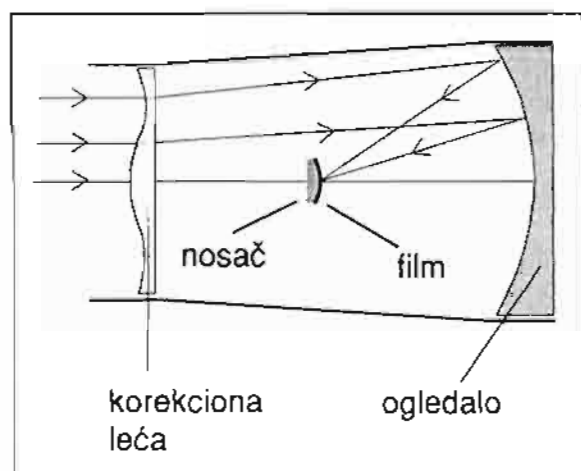
Izrada ove korekzione leće je dosta komplicirana. Schmidt-ov sistem se može koristiti i za vizuelna posmatranja, ali je to često kamera za snimanje većih zvjezdanih polja. U fokusnoj ravni postavlja se film. Ovdje se javlja problem što je ta fokusna ravan zakrivljena i ima oblik isječka sferne površine. Ova sfera je koncentrična sa površinom primarnog ogledala, a ima radius jednak radiusu tog ogledala. Zbog toga se fotografska ploča mora podesiti da ima takav oblik. Postoje i posebne, Piazzi - Smithove korekzione leće koje zakrivljenu površinu preobraćaju u ravnu.



SI.156 Teleskop Cassegrain-ovog tipa, prečnika 0,62 m i fokusnog rastojanja 12,4 m, bio je najveći instrument Astronomske opservatorije u Sarajevu. Optika i osnovne komponente su engleske proizvođačke. Načinila ga je londonska firma "Fullerscopes". Teleskop je kasnije, početkom osamdesetih godina, dijelom rekonstruiran vlastitim snagama. Korišten je prvenstveno za fotoelektričnu fotometriju promjenljivih zvijezda. Za tu svrhu u Češkoj je nabavljen poseban fotoelektrični fotometar. Ovo je bio jedan od tri najveća astronomska instrumenta na području bivše Jugoslavije. Početkom agresije na Bosnu i Hercegovinu teleskop je granatiranjem uništen u maju (svibnju) 1992. godine.

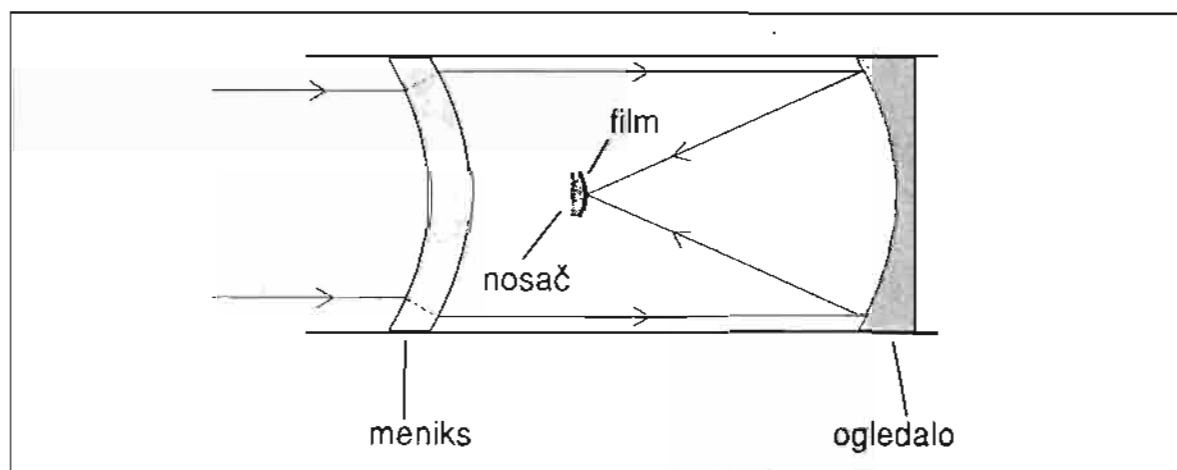
Drugo rješenje otklanjanja sferne aberacije dao je Maksutov. Ovdje se negativna sferna aberacija otklanja

pozitivnom aberacijom specijalno proračunate leće - meniska. Menisk ima dvije sferne površine, pa ga je lakše izraditi (Sl.158).

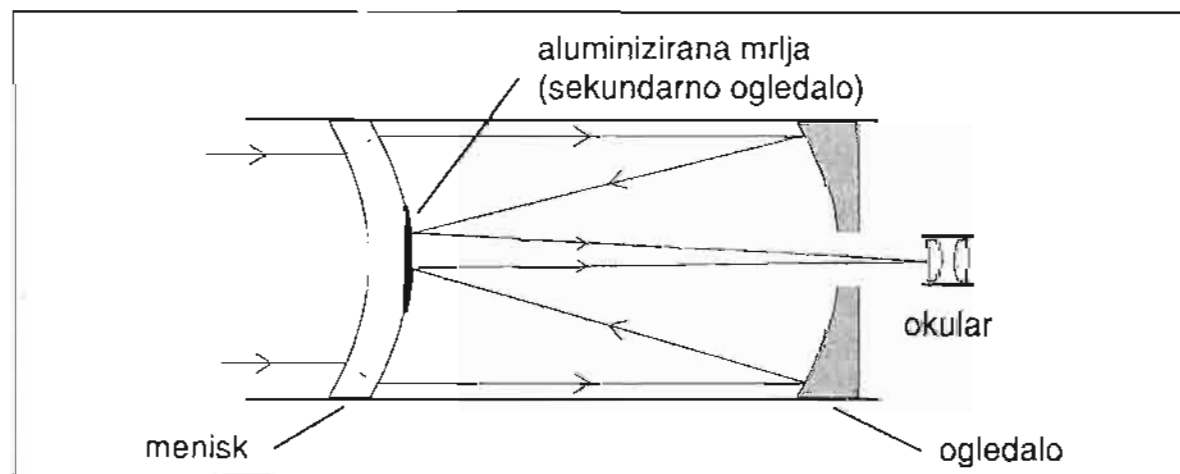


Sl.157 Schmidt-ova kamera

Cijevi Maksutova su veoma kratke, jer se menisk postavlja u blizini primarnog fokusa. Ovakav sistem se može koristiti i kao teleskop za vizuelna posmatranja. Na slici 159 vidi se izgled jednog **Maksutov-Cassegrain** teleskopa. Ekvivalentna fokusna daljina ovih teleskopa je velika. Schmidt-ove i Maksutov-ljeve kamere koriste se u astrofotografiji zbog svog velikog vidnog polja i kvalitetne slike koju daju. Najveća Schmidt kamera nalazi se na opservatoriji u Tautenbergu, Njemačka, i ima prečnik ogledala od 2 metra. Od kamera Maksutov-og



Sl.158 Kamera Maksutova



Sl.159 Maksutov - Cassegrain teleskop

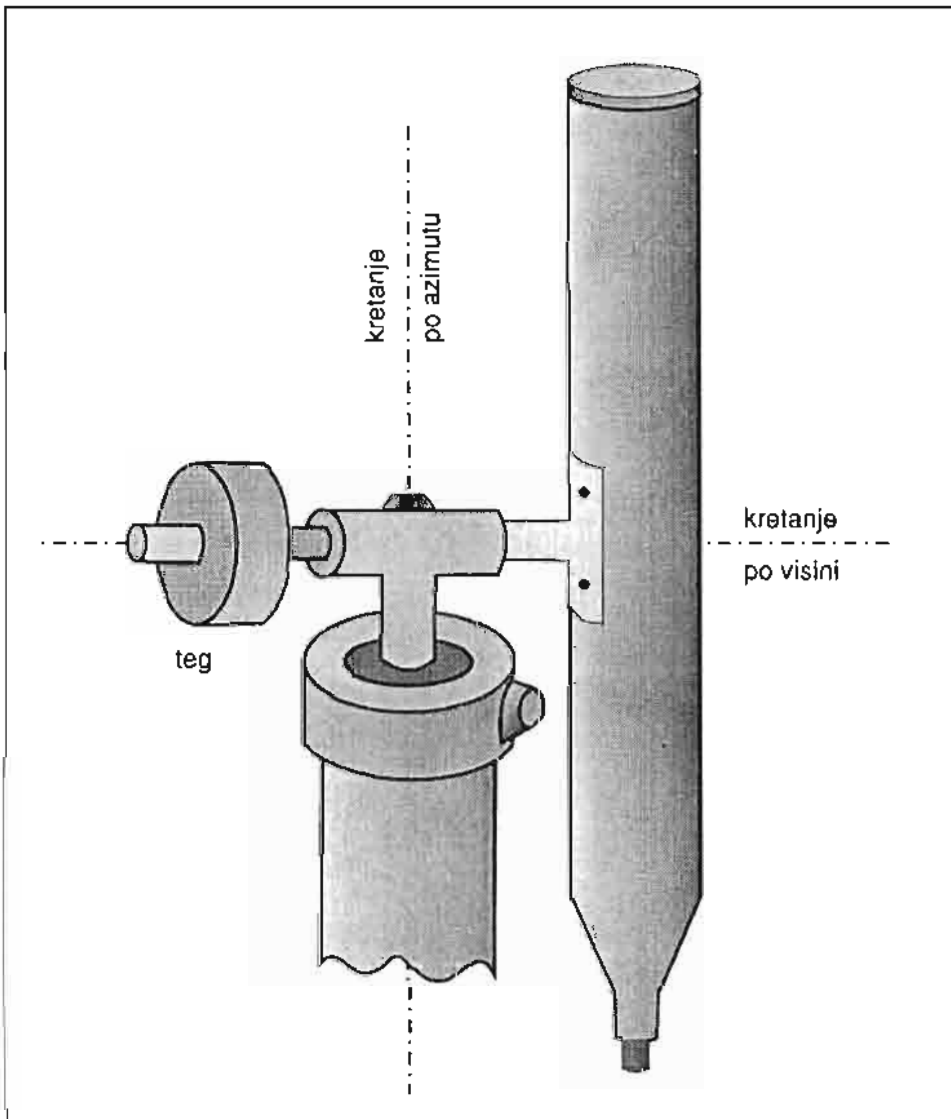
tipa, najveća se nalazi na opservatoriji Abastuman u Jermeniji i ima prečnik od 0,70 metara.

MONTAŽE TELESKOPA

Da bi se teleskopi mogli koristiti, oni moraju da posjeduju različite mehaničke sklopove koje poznajemo kao montaže teleskopa. Svaki instrument, pa čak i dvogled koji uvećava više od desetak puta, zahtijeva neki oslonac bez koga je posmatranje zamorno. Slika drhti i vrlo je teško objekat zadržati duže vrijeme u vidnom polju.

Azimutna montaža

Ovaj tip montaže se u prošlosti koristio samo za male teleskope. Tu se instrument učvrsti tako da se može okretati oko dvije, uzajamno normalne, osovine. Jedna je vertikalna i okretanjem oko nje, mijenjamo azimut. Oko horizontalne osovine teleskop se pomjera tako da mu mijenjamo visinu. Razvoj kompjuterske tehnologije doveo je do toga da se i veliki teleskopi montiraju na ovaj način. Mehanička opterećenja koja se pojavljuju kod velikih i teških konstrukcija, mogu se lakše rasporediti ako se koristi azimutna montaža. Step motori, koji mogu da komuniciraju sa kompjuterima,



SI.160 Azimutna montaža teleskopa

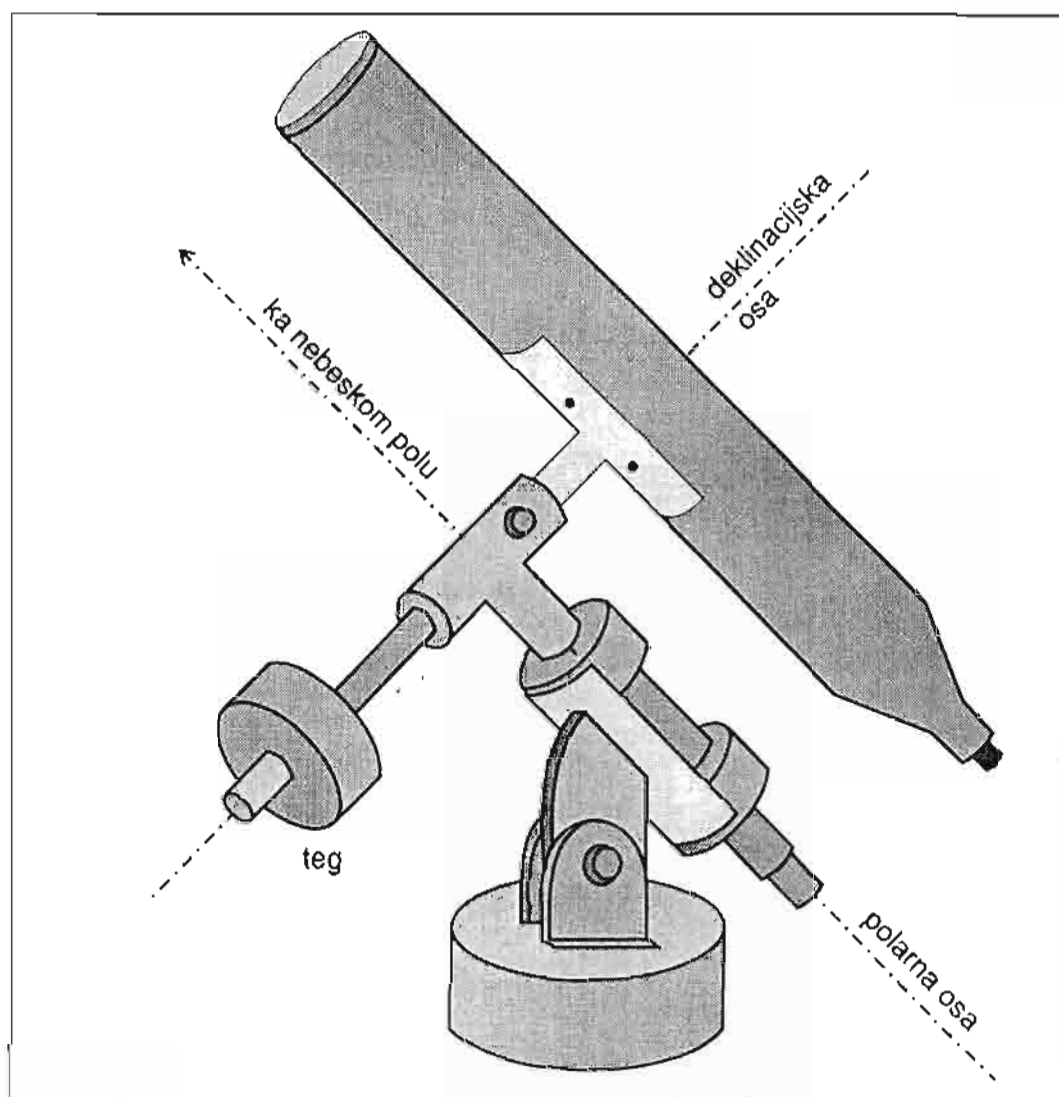
pokreću teleskop po obje osovine i stalno ga drže usmjerenog ka željenom objektu.

Ekvatorska montaža

Ona je još uvijek najrasprostranjeniji tip montaže i kod malih amaterskih, i kod velikih profesionalnih teleskopa. Montaža se sastoji od dvije uzajamno normalne osovine. Osovina koja je usmjerena ka nebeskom polu naziva se polarna ili satna osovina. Obrtanjem teleskopa oko ove osovine, mijenjamo satni ugao instrumenta, odnosno rektascenziju.

Druga osovina, normalna na polarnu naziva se deklinacijska. Ukoliko je polarna osovina usmjerena ka

nebeskom polu, onda je, pomoću zavrtnja za fino pomjeranje, moguće pratiti neki objekat na nebu, pomjerajući teleskop tako da se vrti oko ove osovine. Obično se na zupčanik, a najčešće je to sklop sa pužnim prenosom, postavlja elektromotor. On je podešen tako da se teleskop oko polarne osovine okreće istom brzinom kojom rotira Zemlja. Time posmatrani objekat ostaje u središtu vidnog polja, onoliko dugo, koliko nam je potrebno. Pri tome se, i kod amaterskih teleskopa, danas koriste kompjuterski sistemi koji u svojoj memoriji imaju veliki broj objekata. Često su to kompletni katalozi zvijezda ili drugih objekata. Onda je dovoljno unijeti koordinate



Sl.161 Njemačka ekvatorska montaža

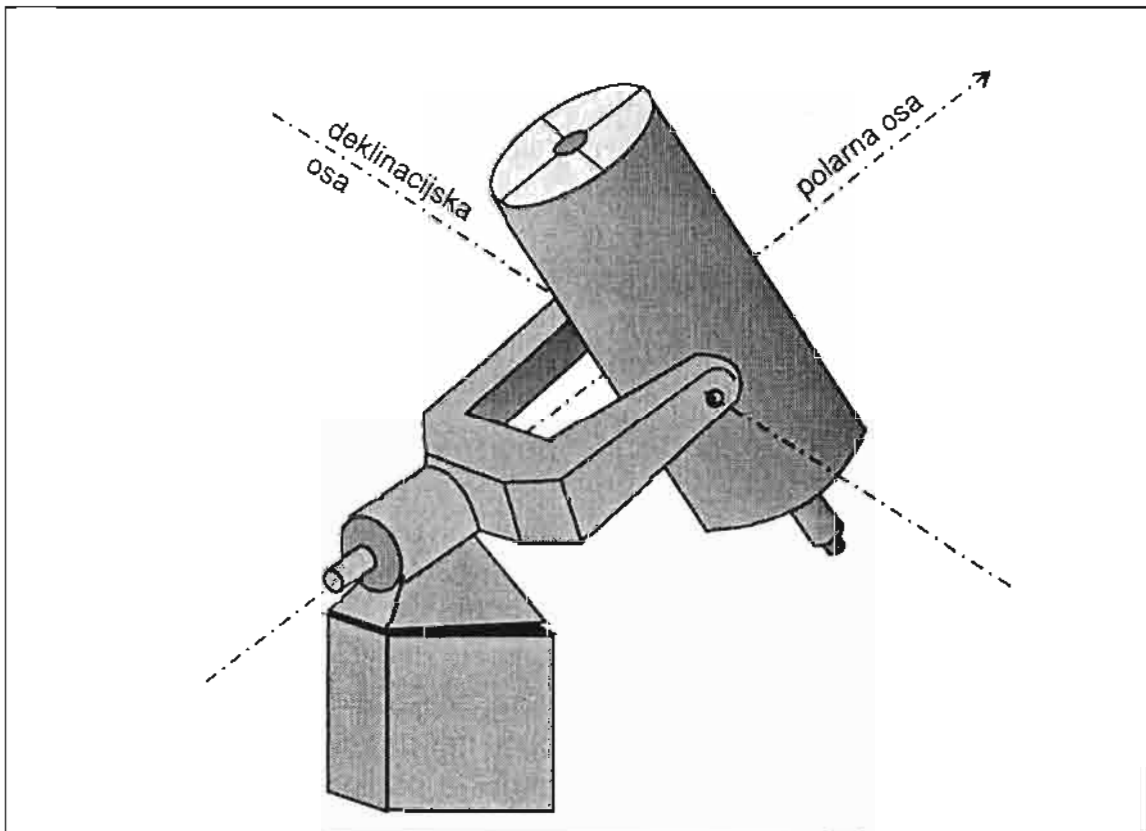
traženog objekta ili njegov naziv i teleskop će sam da se postavi prema toj tački na nebu.

Jedna od najčešće upotrebljivanih montaža, za manje i srednje instrumente, je **njemačka ekvatorska montaža**. Kao što se vidi na slici 161, sa jedne strane deklinacijske osovine je teg, a sa druge teleskop. Kada su u pitanju veći instrumenti, posebno reflektori, tada je podesnija **viljuškasta montaža**. Kod nje je teleskop smješten između krakova jedne masivne viljuške kao što to pokazuje slika 162. Nekada ranije, upotrebljavala se i tzv. **engleska ekvatorska montaža** (sl.163).

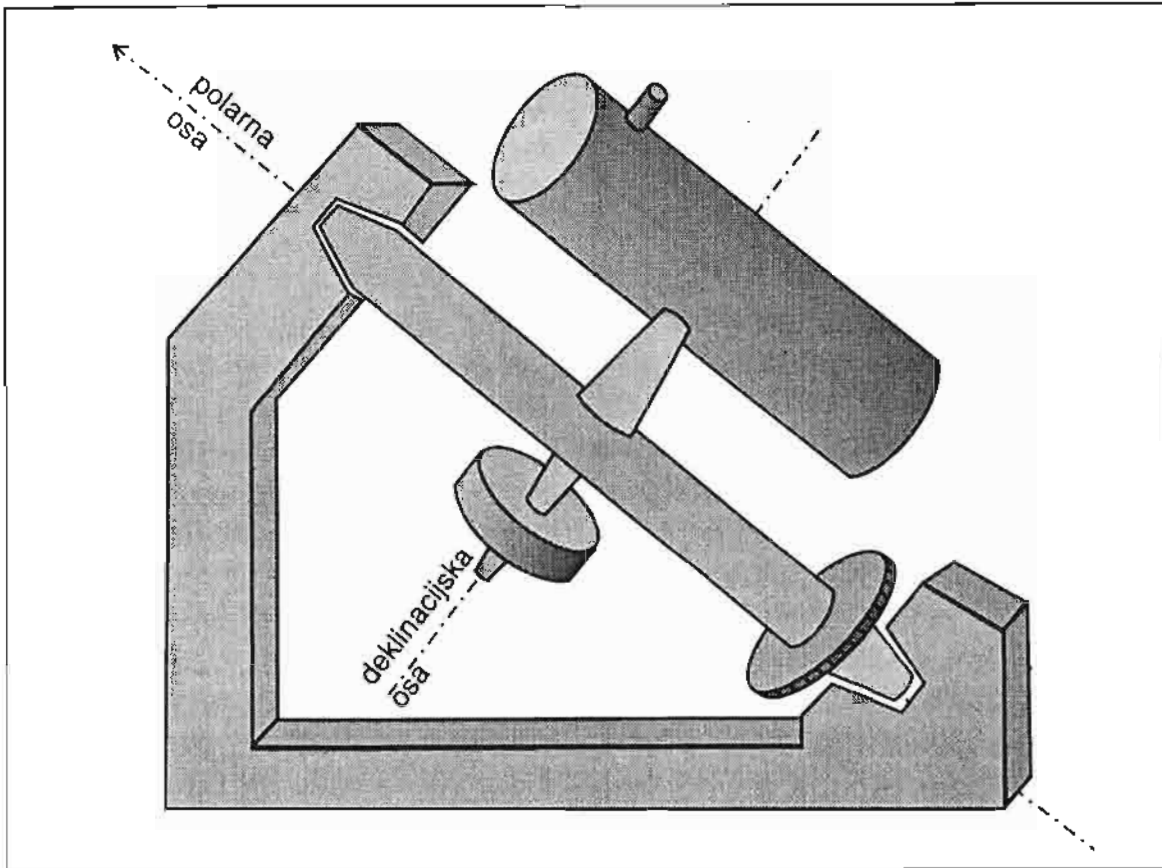
Prilikom postavljanja teleskopa, mora se voditi računa da polarna osovina leži tačno u meridijanu i da bude tako nagnuta, da njena osa, produžena u mislima, prolazi kroz

tačku nebeskog pola. Tačno podešavanje se naziva rektifikacija i obavlja se raznim metodama. Te metode zavise od veličine teleskopa, tipa upotrebljene montaže i potrebne preciznosti.

Za približnu rektifikaciju može da posluži sljedeća metoda. Teleskop se postavi u ravan meridijana (pravac sjever - jug), a polarna osovina nagne, u odnosu na horizont, pod uglom jednakim geografskoj širini mjesta posmatranja. Na okular sa velikim uvećanjem postavi se nitni križ i, eventualno, osvijetli kako bi se vidio na tamnoj pozadini neba. Okular rotiramo sve dok ne podesimo da zvijezde, pri svom prividnom dnevnom kretanju, ne budu išle paralelno jednoj od niti. Zatim teleskop usmjerimo ka nebeskom ekvatoru i u vidno polje dovedemo neku zvijezdu smještenu u



Sl.162 Viljuškasta montaža teleskopa



Sl.163 Engleska ekvatorska montaža

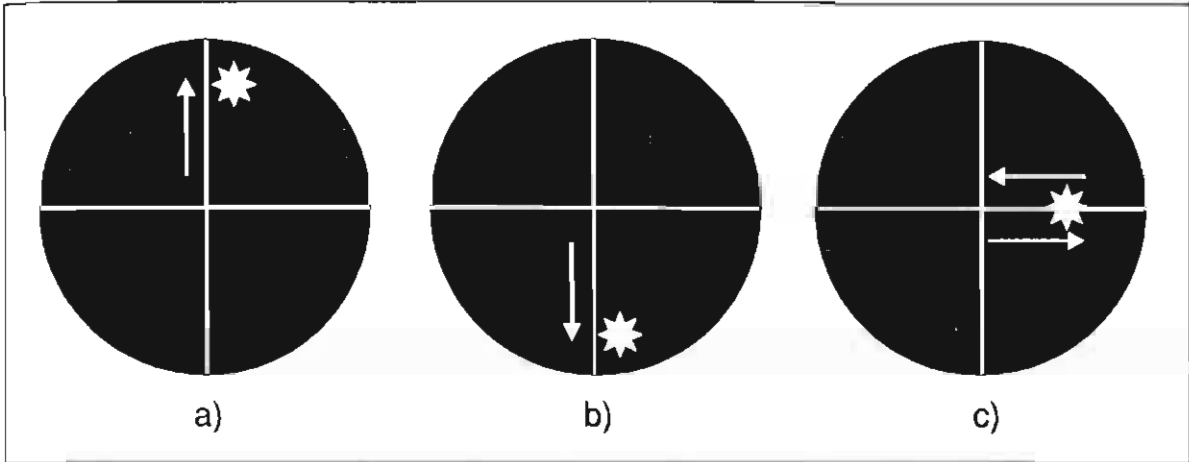
blizini nebeskog meridijana. Teleskop se učvrsti i, finim pomjeranjem po rektascenziji, pratimo tu zvijezdu.

Usljed nepreciznog postavljanja montaže, može da dođe do sljedećih situacija. Ako se zvijezda postepeno pomjera po deklinaciji, ka gore u vidnom polju, to znači da polarna osovina ne leži u ravni meridijana. Instrument se mora pomjeriti u horizontalnoj ravni, tj. izmjeniti mu azimut. U konkretnom slučaju to znači da je potrebno zarotirati stativ ili osnovu montaže u horizontalnoj ravni za neki mali ugao. Pri tome je smjer tog zakretanja suprotan smjeru kazaljke na satu, ili, što je isto, treba ga zarotirati tako da sjeverni kraj polarne osovine pomjerimo ka zapadu.

Kada se zvijezda kreće ka dole, to znači da instrumentalnu osnovu moramo rotirati u smjeru kazaljke na

sat, tj. sjeverni kraj polarne osovine treba da se malo pomjeri ka istoku. Nakon nekoliko uzastopnih postupaka ove vrste, dovešćemo montažu u takav položaj da će nam se zvijezda kretati paralelno sa niti, a da se neće kretati ni gore ni dole. U praksi, kod komercijalnih, serijski pravljenih teleskopa, nikada nije moguće ovo postići u potpunosti.

Za pravilno namještanje nagiba polarne osovine, koristi se slična metoda. Razlika je u tome što se teleskop usmjeri na zvijezdu koja je na satnom uglu od približno + 6h ili -6h. Neka je, recimo, teleskop okrenut ka zvijezdi na istočnom dijelu neba. Ako nam zvijezda "bježi" ka gore, to znači da je neophodno sjeverni kraj polarne osovine podignuti, odnosno povećati njen nagib u odnosu na horizont. U obratnom slučaju se postupa suprotno.



Sl.164 Kretanje zvijezde pri nepravilno (a i b) i pravilno (c) izvedenoj rektifikaciji

FOTOGRAFIJA U ASTRONOMIJI

Prva zapažanja, da neki materijali mijenjaju svoju boju pod uticajem Sunca, potiču još iz rimskih vremena. 1614. godine, **Angelo Sale** objavljuje da papir, premazan srebrnim nitratom, postaje crn kada se izloži svjetlosti. Za ovo se, sasvim slučajno, zainteresovao i **Johann Heinrich Schulze**, 1727. godine. Nešto kasnije, 1767. godine, **Giacomo Battista Beccaria** je otkrio da iste ovakve osobine ima i srebrni hlorid. 1802. godine, **Thomas Wedgwood** opisuje niz eksperimenata pri kojima pravi kopije slike. On koristi za to papir premazan srebrnim hloridom. U toj vrijeme, osnovni problem se sastojao u nemogućnosti "fiksiranja" slike, odnosno, sprječavanja njenog daljeg crnjenja zbog uticaja svjetlosti.

Sir John Herschel, poznati engl. astronom, godinama je svoje ploče obrađivao natrijevim hiposulfatom da bi sačuvao sliku koju je dobio. Tek kasnije, ovaj njegov rad bio je razjašnjen kao otkriće. Era moderne fotografije počinje sa **Josephom Niepce-om** koji se bavio litografijom. Nezavisno od njega, francuski slikar **Louis Daguerre**, eksperimentiše sa srebrnim

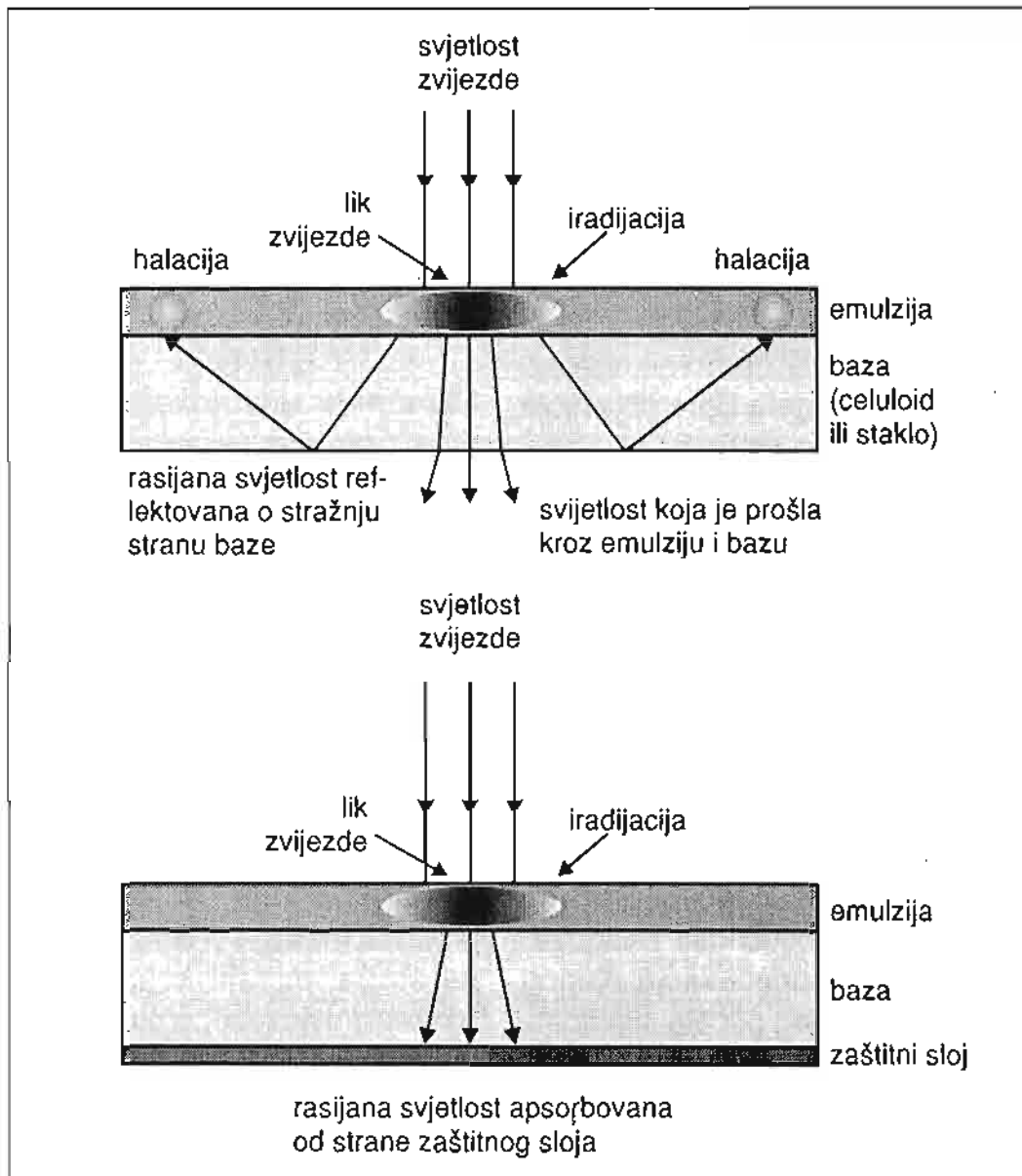
premazima koje obrađuje parama joda. Kada je jednom, slučajno, ostavio svoju ploču pokraj posude sa živom, desilo se čudo. Slabo eksponirana ploča postala je "osjetljiva". Skraćene ekspozicije izazvalo je pravu revoluciju i omogućilo razvoj fotografije.

Savremene fotografske emulzije prave se od smjese koja sadrži veliki broj kristalića halogenog srebra. Kristali su umješani u želatinski sloj i naneseni su na celuloidnu traku ili staklenu ploču. Kada svjetlost pada na emulziju, dolazi do određenih fotoke-mijskih procesa. Kao rezultat toga, fotmiraju se fotografski likovi. Procesom razvijanja, halogeno srebro prelazi u metalno srebro koje je tamno, pa stoga, mjesta koja su bila jače izložena svjetlosti, izgledaju tamnija. Ovaj stupanj u procesu, naziva se negativ. Da bi se ostaci halogenog srebra uklonili iz oblasti gdje je svjetlost slabo ili nikako djelovala, vrši se fiksiranje. Nakon pranja u tekućoj vodi, te sušenja, dobijamo negativ film ili negativ ploču.

Dimezije kristalića halogenog srebra, tačnije srebro-bromida AgBr , se kreću od $1/10 \mu\text{m}$ pa do $5 \mu\text{m}$. Zbog

tih zrnaca, slika ima zrnatu strukturu. Zbog činjenice da su fotografske ploče građene od nekoliko slojeva, javlja se efekat halacije. Tada se oko sjajnijih tačkastih likova pojavljuje uočljiv prstenasti oreol. Slično, apsorbcijom svjetlosti, u oblastima oko samog tačkastog lika, javlja se zamućenje koje karakterišemo kao iradijaciju.

Osnovne osobine fotografske emulzije, najbolje možemo pratiti pomoću tzv. karakteristične krive. Ona se dobije tako što se na vertikalnu osu koordinatnog sistema, nanosi gustina fotografskog lika, odnosno zacrtnjenje. Označava se sa D . Ova gustina fotografskog lika se definiše kao logaritam odnosa intenziteta upadne



Sl. 165

a) Film (ploča) bez zaštitnog sloja. Pored osnovnog lika, formira se zamućenje koje nazivamo iradijacija. Refleksijom od stražnju stranu podloge, javlja se halo (prstenasti oreol) koji se primjećuje oko svih sjajnijih tačkastih likova.

b) Kada je zadnja strana ploče ili filma premazana posebnim zaštitnim slojem, tada se rasijano svjetlo upija u njemu i efekat halacije nestaje.

svjetlosti i svjetlosti koja prođe kroz zacrnjeni dio negativa. Na horizontalnu osu nanosi se logaritam osvjetljenosti koji se označava sa E.

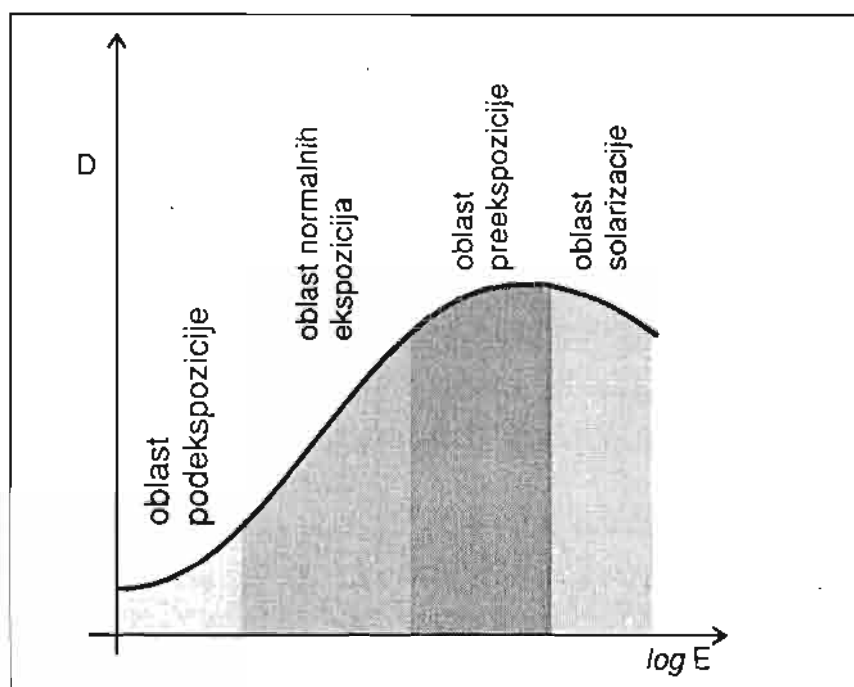
Kao što je vidljivo na grafiku, sl.166, pri malim vrijednostima osvjetljenosti E, kriva ima takav oblik, da pri velikim promjenama tog $\log E$, gustoća negativa D se vrlo malo mijenja. Tu oblast zovemo oblast podekspoziciranosti. U daljem toku, kriva ima približno oblik prave linije i tu se veza između gustine fotografskog lika D i $\log E$, može izraziti relacijom:

$$D = \gamma \log E - A$$

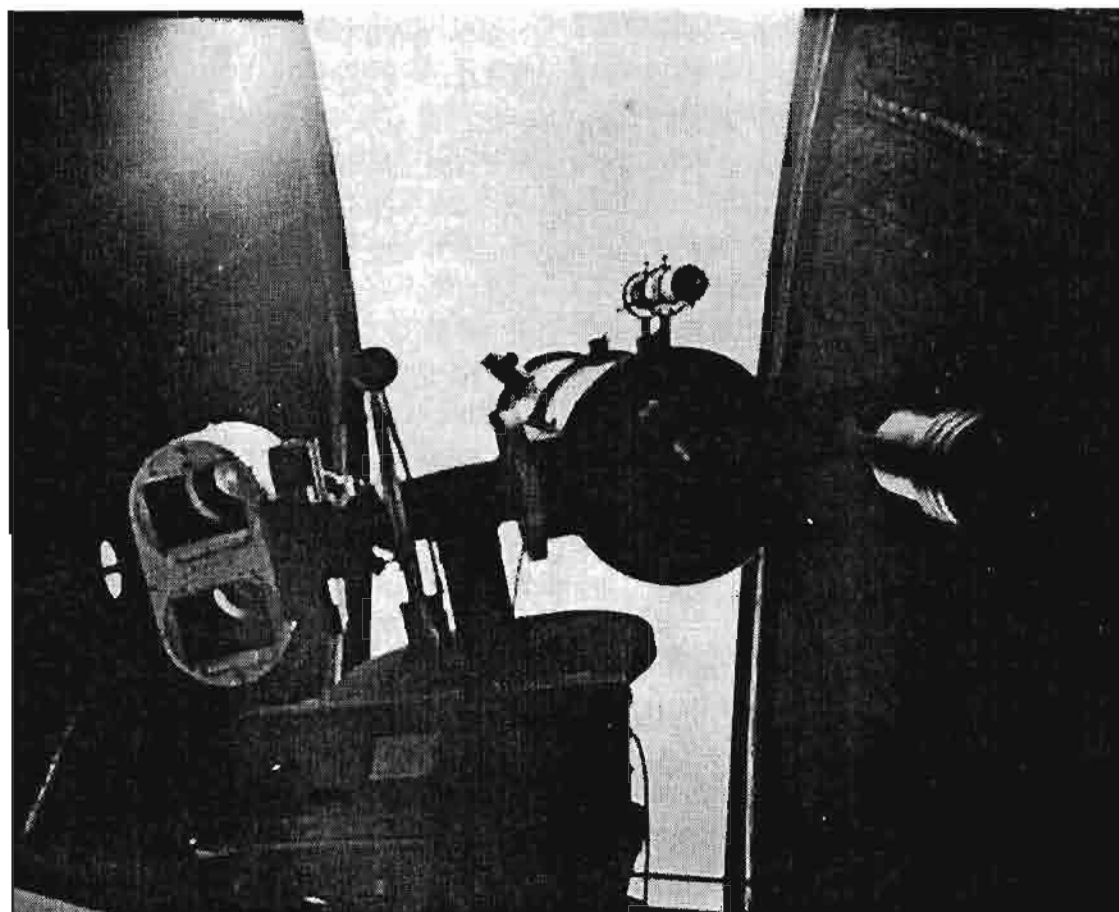
Veličina γ je kontrast ili gama negativa. Ovu oblast karakteristične krive zovemo oblast normalnih ekspozicija. Kada je ugao nagiba normalne oblasti karakteristične krive veći od 45° , tj. kada je gama veće od 1, onda ovakav negativ nazivamo kontrastnim. Ako je gama manje od 1, negativ je "mekan". Kada je gama jednako 1, tada kažemo da je negativ normalan.

Pri daljem povećavanju osjetljivosti negativa, kriva se savija. Rast gustine negativa se naglo smanjuje i čak opada. To je oblast preekspoziciranosti. Posljednji dio krive naziva se oblast solarizacije. Tu je lik manje crn nego što bi trebalo.

Instrumenti kojima se obavljaju osnovna snimanja u astronomiji, nazivaju se **astrografi**. Oni se u osnovi ne razlikuju od opisanih teleskopa. Umjesto okulara, postavlja se kamera sa filmom ili fotografska ploča. Objekтиви su znatno kvalitetniji jer je potrebno dobiti oštre i tačkaste zvjezdane likove po cijeloj površini filma ili ploče. Da bi se nebo moglo snimati sa dugim ekspozicijama, potrebno je da je astrograf učvršćen na ekvatorsku montažu. Preciznost praćenja zavisi od fokusnog rastojanja kamere. Ukoliko je ono manje, to su zahtjevi za tačnost niži. U skromnijim uslovima, (amaterskim), praćenje se koriguje paralelno montiranim teleskopom koji posjeduje okular sa nitnim krstom.



Sl.166 Karakteristična kriva fotografske emulzije



SI.167 Dvostruki astrograf Astronomske opseravorije u Sarajevu. Desno je teleskop za praćenje, a lijevo dvostruka astro-kamera. Astrograf je uništen tokom rata 1992.

Jedna od važnih veličina kod astrografa je razmjer lika. Potrebno je znati kakav je odnos između rastojanja dvije tačke na nebu, u uglovnoj mjeri, i istog rastojanja na filmu, u milimetrima. Da bi smo to razmotrili, posmatraćemo objektiv kamere, film u fokusnoj ravni i dvije tačke na negativu.

Na slici 169, linearno rastojanje d , između dvije tačke u fokusnoj ravni označene sa C i E, biće izraženo preko tangensa uglovnog rastojanja tih tačaka tj.

$$d = F \operatorname{tg} \alpha \quad \text{ili} \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{d}{F}$$

Ako je ugao mali, tada vrijedi:

$$\text{za } 1^\circ \quad d = \frac{F(\text{cm})}{57,3}$$

$$\text{za } 1' \quad d = \frac{F(\text{mm})}{3437}$$

$$\text{za } 1'' \quad d = \frac{F(\text{mm})}{206265}$$

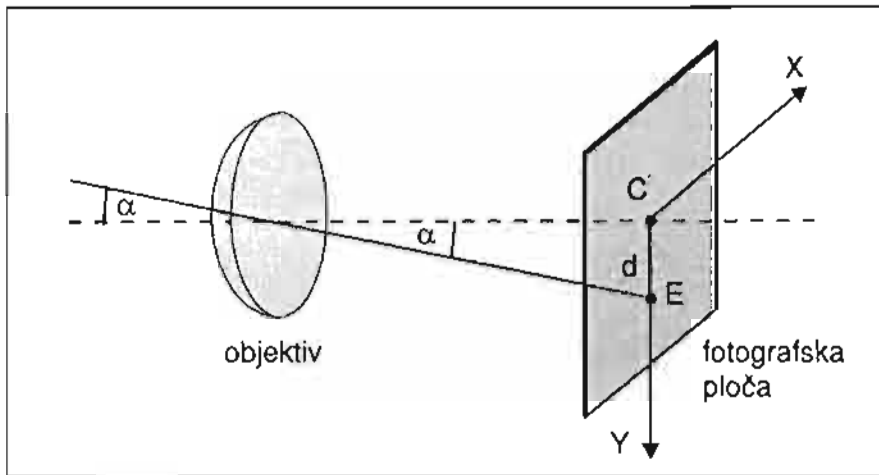
Vidimo, dakle, da poznavajući fokusno rastojanje kamere, možemo odrediti i njen razmjer. Prethodna formula vrijedi za mala rastojanja na fotografskoj ploči. Kod mjerenja većih rastojanja između pojedinih objekata, treba koristiti precizniju formulu:

$$d = F \frac{\alpha'}{3438} \left[1 + \frac{1}{3} \left(\frac{\alpha'}{3438} \right)^2 \right]$$

Snimanja Sunca, Mjeseca i planeta, vrše se običnim teleskopom. U osnovi se mogu koristiti dva načina. Kada se fotografska kamera postavi u fokus teleskopa, tada se radi o snimanju u



Sl. 168. Snimak Mliječnog puta koji je načinjen dvostrukim astrografom Astronomske opservatorije u Sarajevu u julu 1973. Korištena je staklena ploča sa emulzijom firme Kodak, tip 103a-E koja je osjetljiva na crveni dio spektra. Snimio Muhamed Muminović.



Sl.169. Razmjer lika kod snimaka načinjenih astrografom

primarnom fokusu. Ovaj način je pogodan kod fotografiranja Sunca i Mjeseca, te njihovih pomračenja. Kada se aparat postavi iza okulara, tada se mogu dobiti snimci detalja na Mjesecu, planeta i slično. Kod snimanja planeta potrebno je posjedovati satni mehanizam kojim se prati dnevna rotacija Zemlje. Tada se, u većini slučajeva, moraju koristiti duže ekspozicije, pa dolazi do neoštrine zbog pomjeranja planete u vidnom polju.

Sunce se može snimati na više načina. Sasvim bezbjedno je direktno fotografiranje sunčevog lika koji je projektovan na ekran od bijelog materijala. Takav ekran se postavlja iza okulara, na određenoj daljini od koje zavisi veličina sunčevog lika.

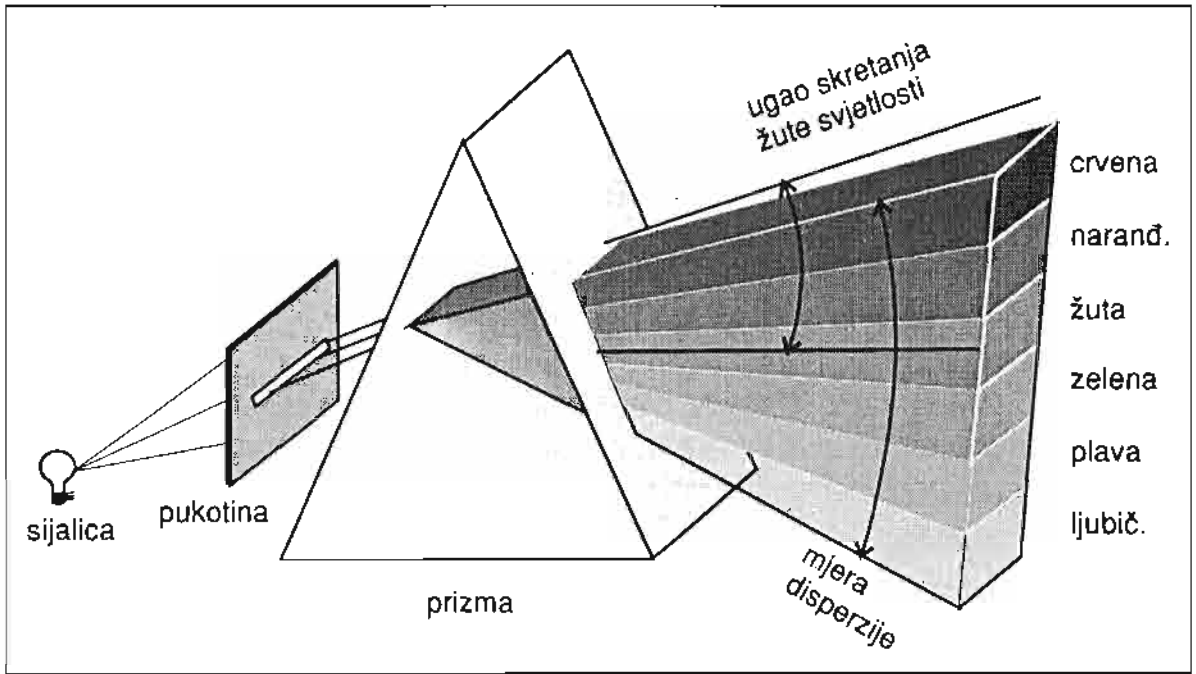
Direktno snimanje se obavlja samo ukoliko posjedujemo profesionalne sisteme za smanjivanje najvećeg dijela upadne svjetlosti i toplote. To je u naše vrijeme najčešće posebna, aluminizirana folija koja se postavlja ispred objektiva teleskopa. Ove ultratanke folije su proizvod kosmičkih tehnologija razvijenih za potrebe svemirskih letova. Ovakve folije, koje nude proizvođači u USA, reflektiraju preko 99% svjetlosti i potpuno su bezbjedne za oko posmatrača.

SPEKTROSKOPSKI UREĐAJI

Znamo da je vidljiva svjetlost samo jedan mali dio sveukupnog spektra elektromagnetskih zračenja. Ona je sastavljena od niza različitih valnih dužina. To lako primjećujemo ako propustimo bijelu svjetlost kroz neku prizmu postavljenu pod odgovarajućim uglom. Različite valne dužine (boje), različito se prelamaju prelamaju prolazeći kroz prizmu. Ono što dobijemo naziva se spektar.

Umjesto prizme, češće se koriste optičke mrežice ili rešetke. One se izrađuju tako što se dijamantom, na kvalitetnom staklu, ureže veliki broj paralelnih linija, postavljenih na istom razmaku jedna od druge. U nekim slučajevima, radi se o više tisuća takvih zareza po jednom milimetru. Disperzija rešetke je direktno proporcionalna broju linija. Kada se koriste ovakve mrežice, tada pored osnovnog spektra, dobijamo i čitav niz spektara prvog, drugog,... reda.

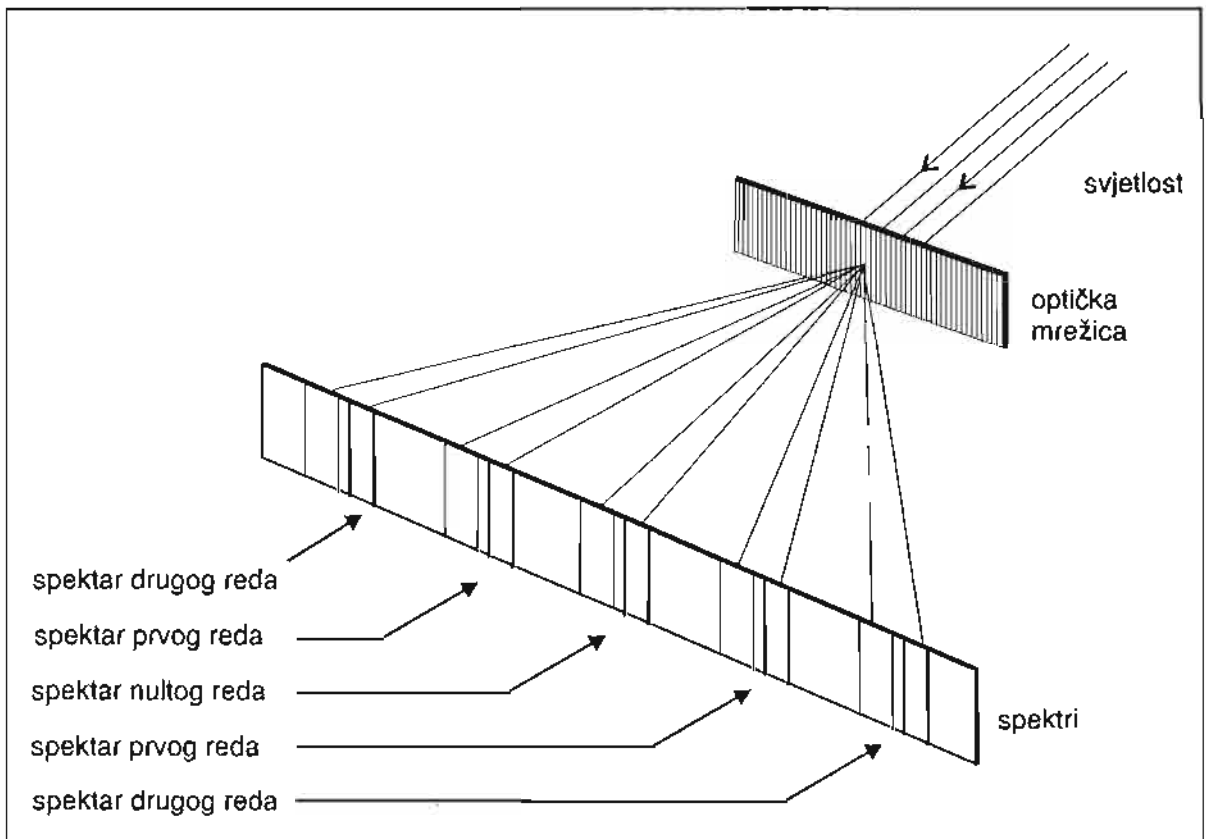
Postoje tri osnovna tipa spektara. Svjetlost koja dolazi od zagrijanih čvrstih i tečnih tijela, te od plina koji je



SI.170 Nastanak kontinuiranog spektra propuštanjem bijele svjetlosti kroz staklenu prizmu.

pod visokim pritiskom, daje tzv. **kontinuirani ili neprekidni spektar**. Ovakav spektar nema linija, već valne dužine, prelaze jedna u drugu.

Kada je izvor svjetlosti vrući, razrijeđeni plin, tada na pozadini kontinuiranog spektra, opažamo svijetle emisijske linije. Različiti



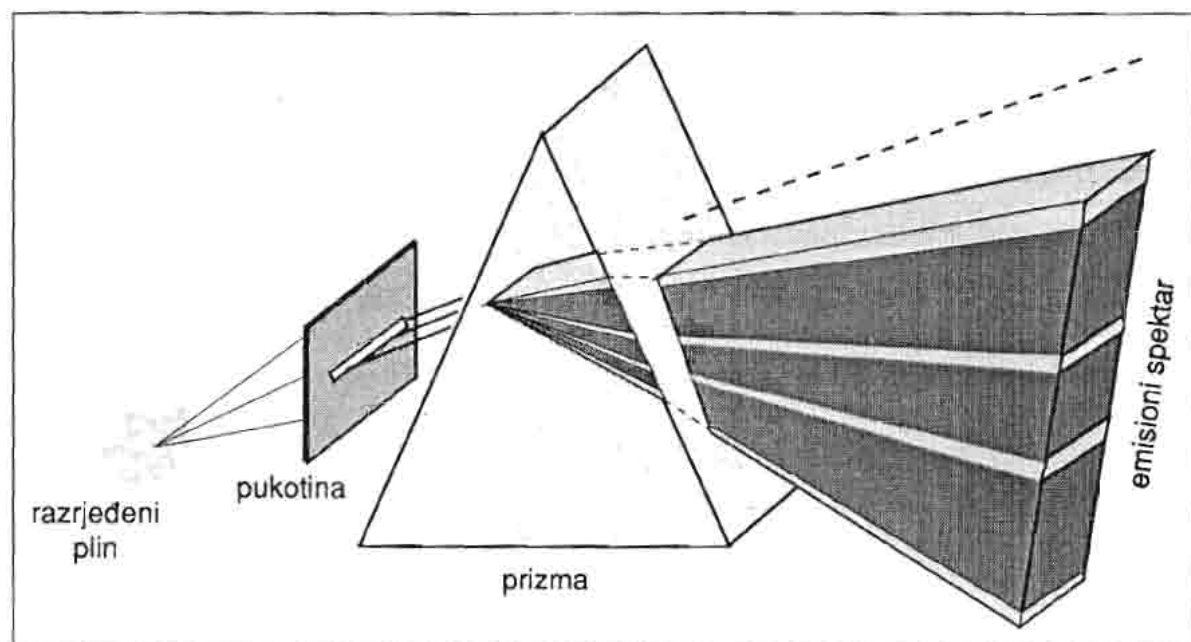
SI.171. Nastanak spektra propuštanjem bijele svjetlosti kroz optičku mrežicu

hemijski elementi zrače svoje karakteristične linije. Ovakav spektar se naziva **emisioni spektar**. Ako se iza oblaka hladnijeg razrijeđenog plina postavi izvor koji daje kontinuirani spektar, tada ćemo na mjestu svijetlih linija, dobiti tamne, apsorpcijske linije.

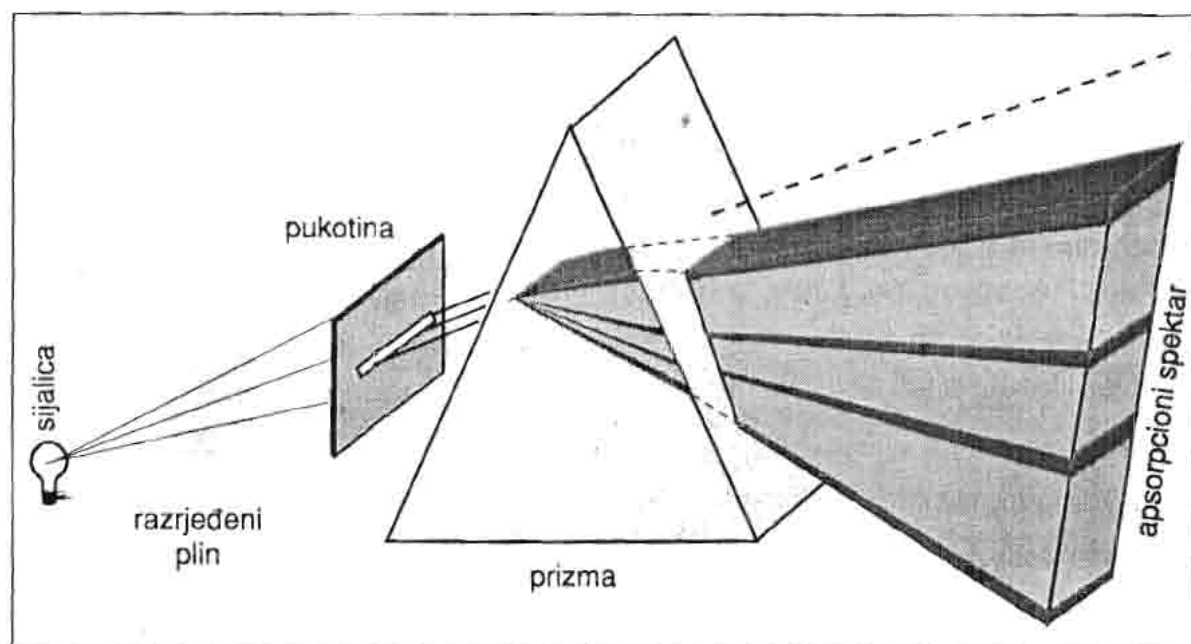
Plin upija onaj dio zračenja koji bi i sam emitirao kada bi bio zagrijan do određene temperature. Spektar ovog tipa nazivamo **apsorpcijski spektar**.

Zvezdani spektri su, uz neke posebne izuzetke, redom apsorpcijski. To znači da je središnji, gušći sloj zvijezde, okružen razrijeđenom atmosferom u kojoj se apsorbiraju pojedine valne dužine.

Spektralna analiza može da nam da različite podatke o fizičkom stanju svemirskih objekata, njihovom kemijskom sastavu, kretanju, magnetskim poljima, isticanju materije i sl. Da bi



SI.172 Nastanak emisionog spektra



SI.173 Nastanak apsorpcionog spektra

se ovakva istraživanja mogla obavljati, koriste se različiti spektroskopski uređaji. Osnovni uređaj u spektroskopiji je **spektrograf** čiju shemu vidimo na sl.174. Umjesto fotografske ploče, kao prijemnika svjetlosti, u novije vrijeme znatno češće se koriste razni elektronski sistemi sa čipovima osjetljivim na svjetlost.

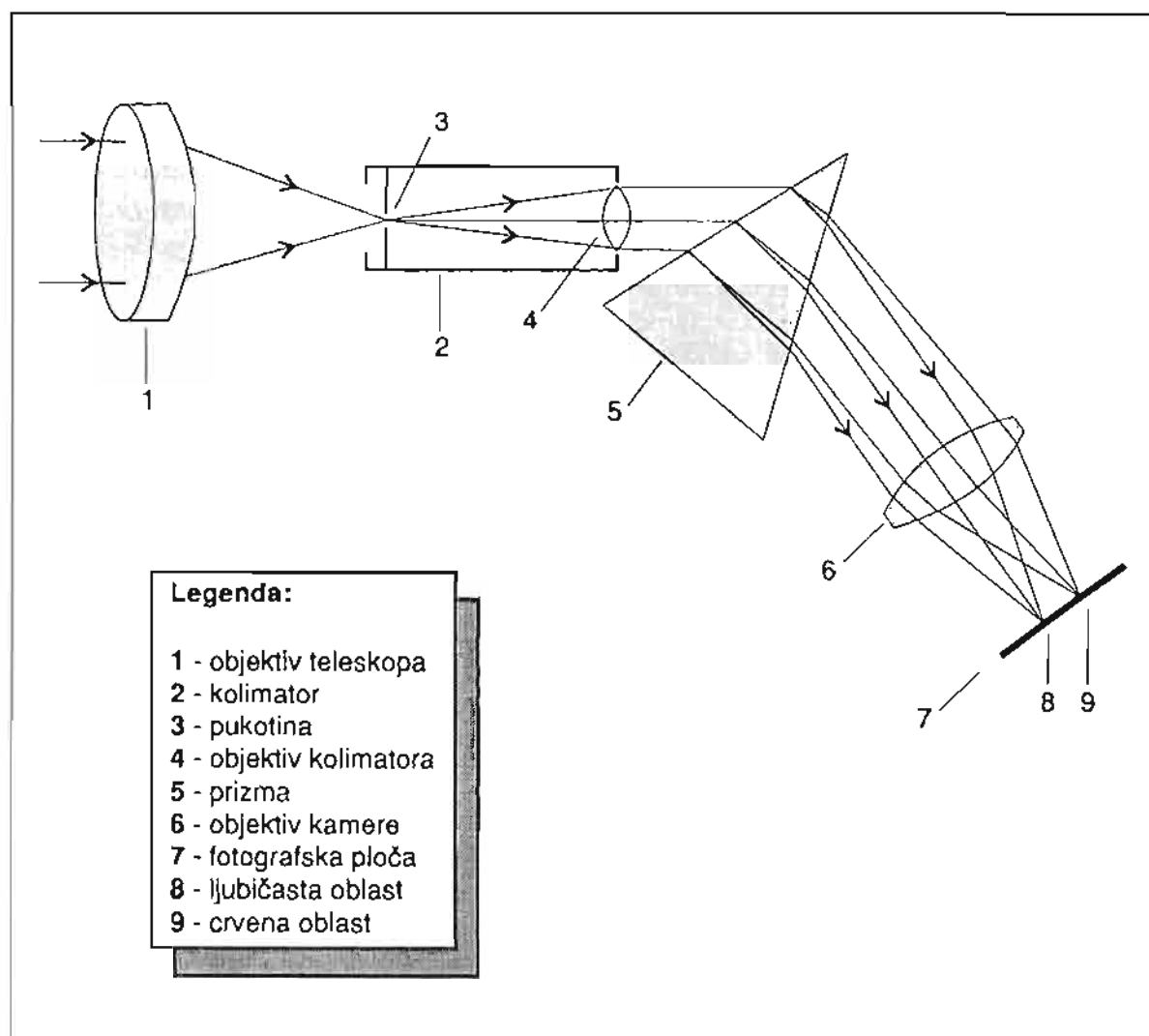
Princip rada svakog spektrografa sastoji se u slijedećem:

Svjetlost koju prikupi objektiv teleskopa, pada na pukotinu smještenu u fokusu. Pukotina nam osigurava da vidimo dovoljno oštro apsorbcione ili emisione linije u spektru. Njenu širinu možemo proizvoljno mijenjati. Na drugom kraju cijevi koju zovemo

kolimator, nalazi se sočivo koje upadni snop svjetlosti pretvara u paralelni i šalje ga na prizmu ili optičku mrežicu. Prizma, odnosno mrežica, razlaže svjetlost u spektar koga registriamo kamerom.

FOTOMETRIJA

Astronomska fotometrija se bavi mjerenjem jačine svjetlosti koja nam dopire od raznih nebeskih tijela. Mjerenje ovog intenziteta, koji se obično iskazuje kroz prividne veličine ili prividni sjaj, može se vršiti na razne načine. U amaterskim uslovima, to se



Sl.174 Shema spektrografa

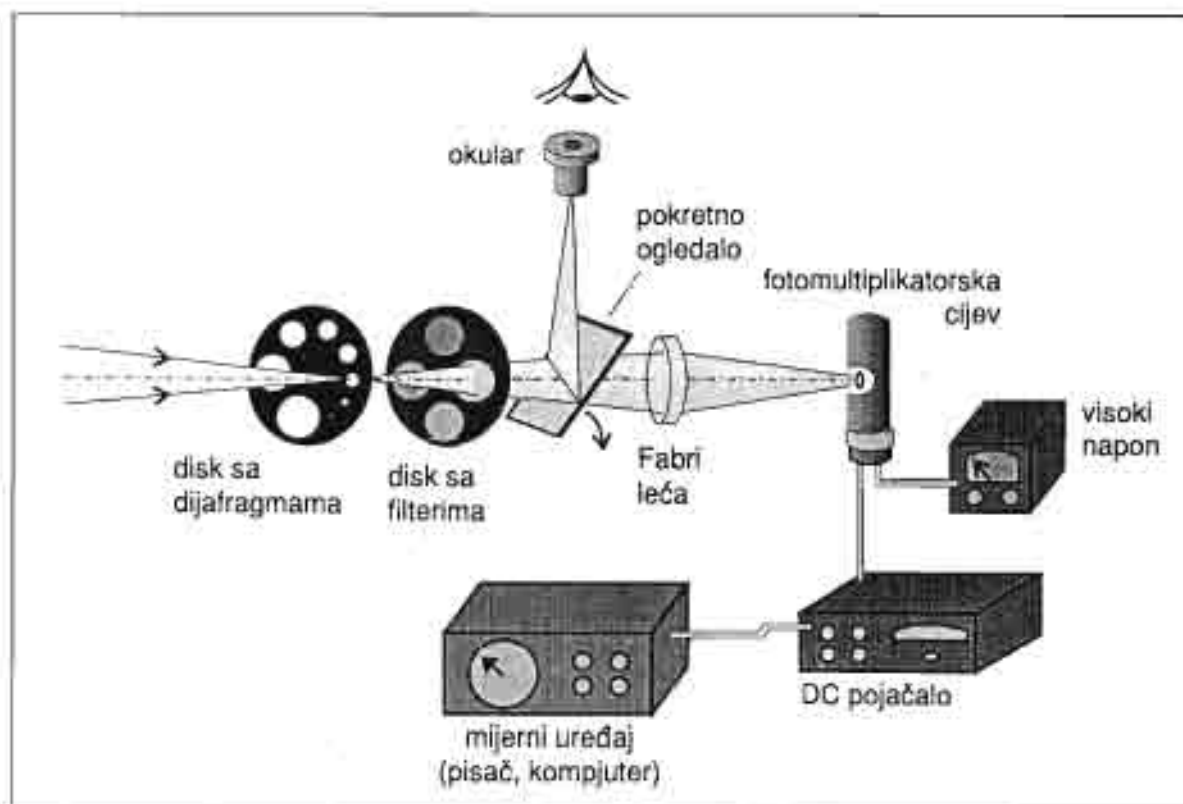
vrši golim okom. Ovaj metod je dobar kod posmatranja meteora i sjajnijih promjenljivih zvijezda. Okom se može, vizuelno ocjenjujući, određivati prividni sjaj promjenljivih zvijezda njihovim posmatranjem uz pomoć dvogleda ili teleskopa. Ovakvi metodi, naravno, nisu precizni, a bolja tačnost se postiže kada se usrednjuju posmatranja većeg broja posmatrača.

Tokom povjesti astronomije, pojavili su se i prvi uređaji za mjerenja i to vizuelni fotometri. Svi su oni koristili neki vještački izvor svjetlosti koji je predstavljao poredbenu "zvijezdu". Danas se ovakvi uređaji više ne koriste.

U posljednjim decenijama, naviše su se za ovakve svrhe koristili fotoelektrični fotometri. Shema jednog ovakvog uređaja, prikazana je na slici 176. Svjetlost koja dolazi od objektiva teleskopa pada na disk po čijem su obodu okrugli otvori, diafragme,

različitih prečnika. Njihova uloga se sastoji u tome da izoluju mjerenu zvijezdu od drugih u njenoj okolini. Iza ovog diska je drugi disk koji po obodu ima filtere. U klasičnoj kombinaciji, koriste se tri filtera. To su ultraljubičasti (U), plavi (B) i vizuelni (V). Ovaj sistem je poznat kao **Johnsonov UBV sistem**. Iza filtera je kontrolni okular koji se, pomoću ogledala ili na neki drugi način, ubacuje u svjetlosni snop. Njime se zvijezda precizno postavlja u centar diafragme.

Nakon ovog, svjetlost dolazi do leće zvane Fabrijeva leća. Ona tačkasti zvjezdani lik transformiše u mrlju određenog prečnika. Time se eliminira uticaj različite osjetljivosti pojedinih dijelova tzv. fotokatode. Na fotokadodi, koja je dio elektronske cijevi nazvane fotomultiplikator, slabi svjetlosni signal se pretvara u takođe slabi strujni tok. Taj tok se pojačava i usmjerava na neki mjerni uređaj. To je u naše doba neki



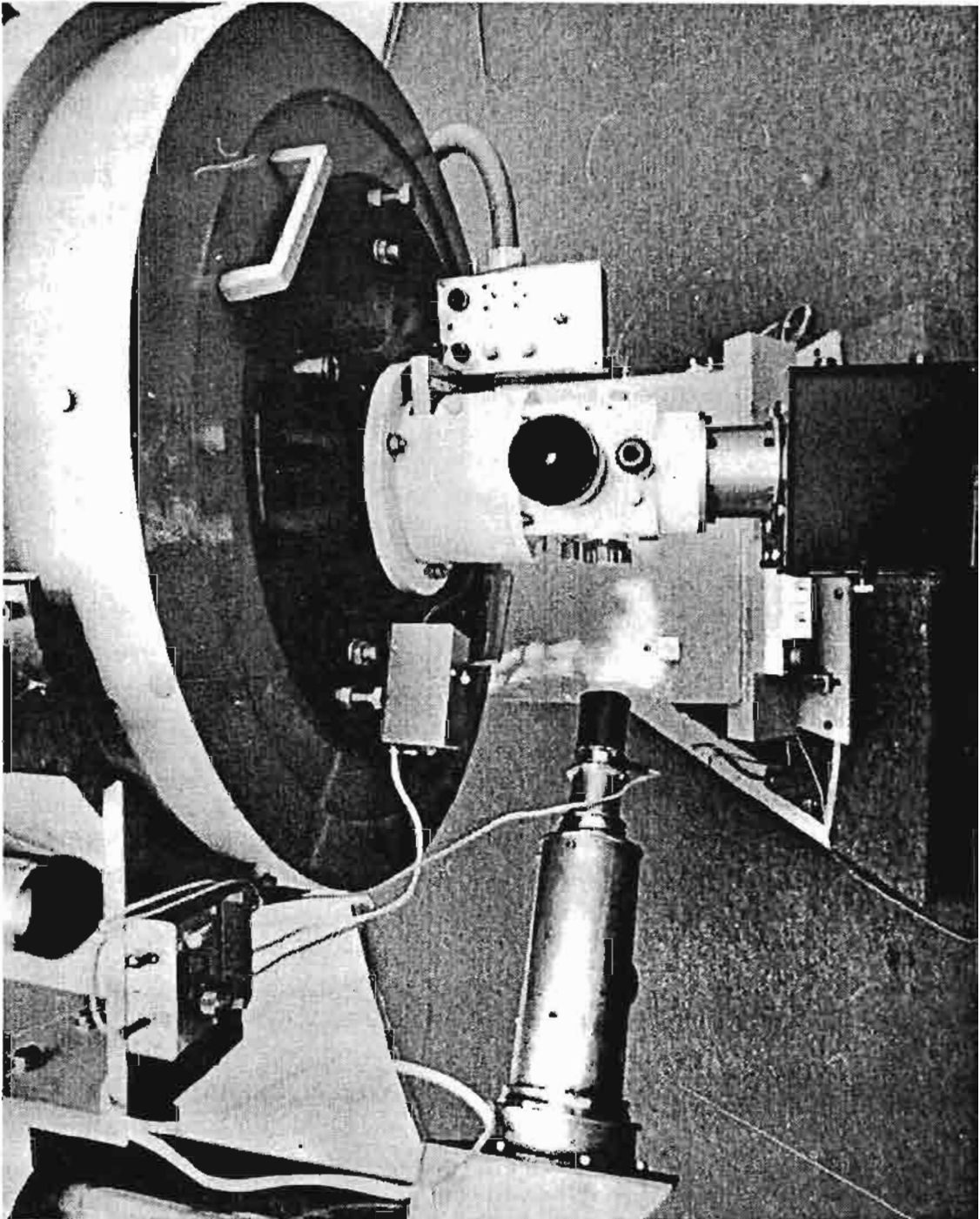
SI.175 Shema fotoelektričnog fotometra

personalni kompjuter koji ujedno obavlja i kompletnu obradu podataka i kao konačni rezultat izlistava prividni sjaj posmatrane zvijezde.

U posljednjih nekoliko godina, za potrebe fotometrije daleko su pogodniji i sve više se koriste elektronski čipovi osjetljivi na svjetlost, tzv. CCD uređaji. Oni obezbjeđuju istovremeno mjerenje svih objekata u vidnom polju.

Filteri

Upotreba filtera ima u astronomiji važnu ulogu. Kao što je poznato, filteri su optičke sredine koje propuštaju zračenje određenog dijela spektra, a ne propuštaju ostale dijelove. Tako, na primjer, crveni filter će propuštati najviše crvene i njima bliske boje, a plave će upijati. Jednostavniji filteri se prave od obojenog stakla. Međutim, ti



Sl.176 Fotoelektrični fotometar koji je bio korišten na Astronomskoj opservatoriji u Sarajevu.

stakleni filteri imaju suviše širok propusni opseg. Kvalitetniji filteri se izrađuju tako što se na želatinsku pločicu nanosi tanki sloj neke organske boje. Oni su osjetljivi na mehaničke uticaje i vlagu.

Filteri se upotrebljavaju u astrofotografiji kod snimanja i posmatranja planeta. Međutim, najveću korist astronomija ima od **monohromatskih filtera**. Oni propuštaju samo svjetlost uskog dijela spektra. Posebno su podesni za mjerenje kolor indeksa pojedinih zvijezda. Monohromatski filteri se mogu dobiti kombinovanjem više običnih filtera, ali se tada gubi dosta svjetlosti, a i ne dobija se potpuna monohromatičnost. To se riješilo konstrukcijom **interferencionih i interferenciono-polarizacionih filtera**. Interferencioni filteri se zasnivaju na pojavi interferencije svjetlosti kao posljedice njene valne prirode.

Neke materije imaju osobinu da svjetlosne valove propuštaju u samo jednoj ravni. Prolazom kroz takve filtere svjetlost se polarizuje. Ako se iza takvog filtera postavi još jedan, onda, njegovim zakretanjem možemo postići da se svjetlost potpuno "ugasi". Polarizacioni filteri se mogu koristiti da bi se ustanovilo da li neki izvori, zbog određenih fizičkih uslova, emituju polarizovanu svjetlost. Pri tome se jedan filter zakreće i ako svjetlost objekta slabi, to je pouzdan znak da je u većoj ili manjoj mjeri ta svjetlost polarizovana.

Konstruirani su i filteri koji propuštaju samo uski dio spektra, gotovo samo jednu valnu dužinu. Tako se često upraksi koristi **H α filter** koji propušta crvenu vodikovu liniju sa valnom dužinom od 656 nm. Obzirom da je vodik najrasprostranjeniji eleme-

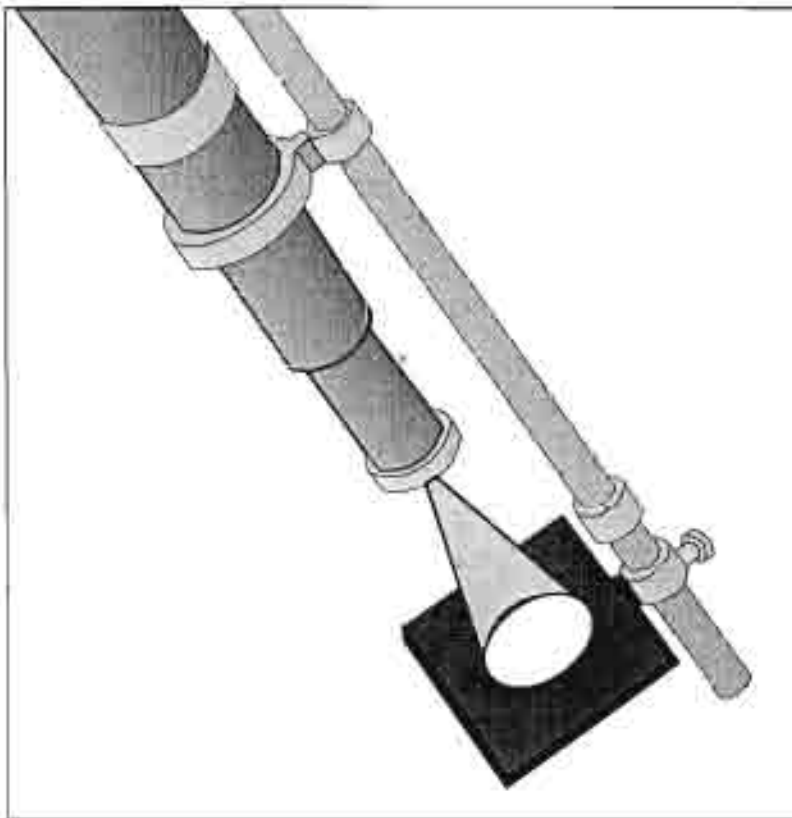
nat u svemiru, to nam snimanje u H α svjetlosti pruža dragocjene podatke.

INSTRUMENTI ZA IZUČAVANJE SUNCA

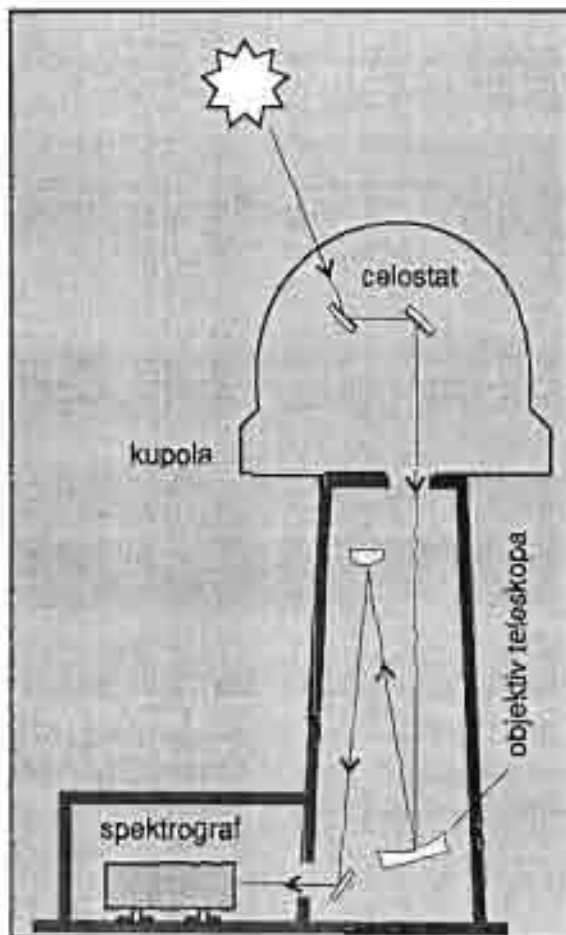
Sunce je izuzetno snažan izvor svjetlosti i zato se **nikada ne smije posmatrati direktno kroz teleskop**. U skromnim uslovima, najjednostavnije i najbezbjednije je, posmatrati ga projektovanjem njegovog lika na neki bijeli zaklon. U profesionalnim uslovima, koriste se različiti, često kompleksni metodi. Vrlo često se konstruišu posebni sistemi nazvani **celostat**. Kod njih se, sistemom ogledala, sunčev lik šalje sa vrha visokog tornja prema spektrografu i drugim uređajima. Tako je moguće vršiti posmatranja Sunca i vrlo teškim uređajima koji miruju u klimatski kontroliranim uslovima. Oni se ne pomjeraju, već to čine vanjska ogledala.

Za solarne astronome, veoma su važna istraživanja korone. Bez posebnih uređaja, ona se ranije mogla posmatrati samo tokom rijetkih totalnih pomračenja Sunca. Zato je konstruiran **koronograf** čiju shemu vidimo na slici 179.

Glavni objektiv sistema je O_1 . Na mjestu gdje se formira lik Sunca nalazi se metalni konus koji je neznatno veći od tog lika. On je učvršćen na pomoćno plankonveksno sočivo označeno sa O_2 . Ovo sočivo šalje sliku Sunca, koju daje objektiv, do diafragme D koja zaustavlja rasijanu svjetlost. Akromatski objektiv O_3 izoštren je na rub konusa ili, što je isto, na rub Sunčevog lika zaklonjenog konusom. Ispred okulara se postavlja crveni uskopo-



SI.177 Projekcija lika Sunca na zaklon

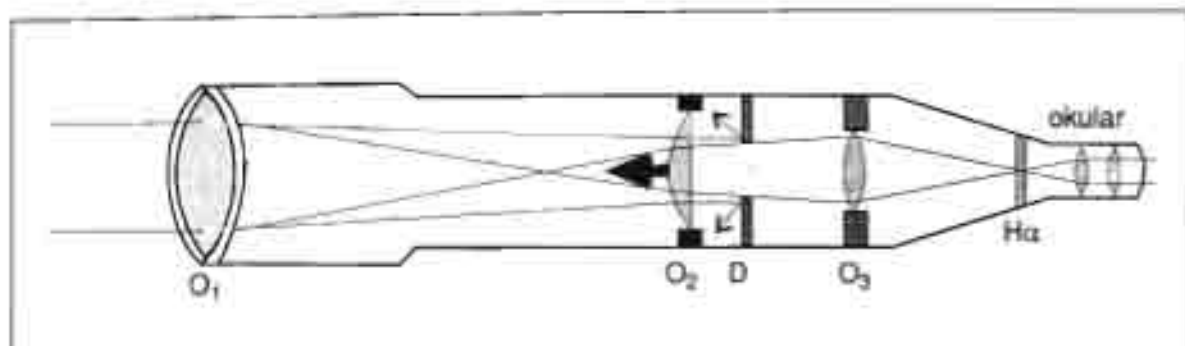


SI.178 Sunčev toranj sa celostatom

jasni, ili još bolje, $H\alpha$ filter. Ovakvim uređajem mogu se svakodnevno posmatrati i fotografirati korona i protuberance.

U ispitivanju nama najbliže zvijezde, važnu ulogu igraju spektroheliografi. Osnovni dio ovog uređaja je spektroskop. Lik Sunca se pušta da postepeno prelazi preko pukotine spektroskopa koja je postavljena u fokusu teleskopa. Na mjestu gdje se formira spektar postavlja se druga pukotina i to, na mjestu one linije u kojoj želimo da posmatramo Sunce. Na taj način moguće je birati razne oblasti elektromagnetskog spektra Sunca. Fotografska ploča ili kamera, koja se nalazi iza druge pukotine, kreće se sinhrono kretanju lika Sunca po pukotini.

Ovim je moguće dobiti lik cijelog Sunca u svjetlosti određene spektralne linije npr. $H\alpha$ ili liniji kalcija. To nam daje mogućnost znatno detaljnijih istraživanja naše zvijezde.



Sl. 179 Shema koronografa u kome metalni konus prouzrokuje vještačko pomračenje Sunca

ELEKTRONSKI SISTEMI ZA DOBIJANJE SLIKA

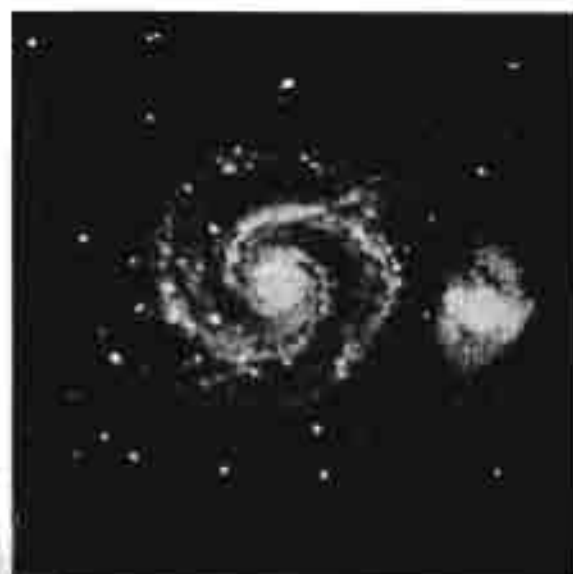
Razvoj elektronike u posljednjim decenijama omogućio je pravu revoluciju u astronomskoj tehnici. Pored njene primjene za pogonske mehanizme teleskopa i njihovo tačno usmjeravanje u željenom pravcu, elektronika je dala velike rezultate na polju prijema i obrade slika.

Rana primjena elektronike dovela je do stvaranja tzv. elektronskih teleskopa. Oni su se zasnivali na primjeni fotomultiplikatora i televizijske tehnike. Slijedeći korak bile su cijevi za sliku (image tubes). One su omogućile povećanje osjetljivosti, u odnosu na fotografske emulzije, i do desetak pa i više puta.

Razvoj silicijskih čipova doveo je do otkrića onih koji su osjetljivi na svjetlost. Taj razvoj je kulminirao otkrićem **CCD čipova**. Naziv im dolazi od "Charge Coupled Device" odnosno uređaji sa vezanim nabojima. To je niz poluprovodničkih detektora, osjetljivih na svjetlost. Kada svjetlost pada na pojedinačni element, stvara se naboj koji je proporcionalan upadnoj svjetlos-

ti. Taj naboj se može skupljati, što je analogno dužem eksponiranju fotografske ploče.

Ono što je značajno kod ovih uređaja je, da su po svom principu i načinu rada, nužno vezani za kompjutere. Kompjuteri memorišu informacije o svakoj pojedinačnoj pikseli (picture element) i kasnije reprodukuju ovako dobijenu sliku. Najnoviji CCD uređaji, imaju dimenzije i 5x5 cm.



Sl. 180 CCD snimak spiralne galaksije M 51. Ekspozicija je iznosila 3 minuta i obavljena teleskopom prečnika 0,3 metra

U dvije bitne stvari, CCD su superiorniji nad fotografskim pločama. Prvo, imaju visoku kvantnu efikasnost.

To je, inače, količina svjetlosti koja se detektira u odnosu na onu koja je upadna. Kod foto ploča se od 100% svjetlosti detektira oko 2%. Kod najnovijih CCD uređaja, kvantna efikasnost se kreće oko 75%. Zatim, CCD sistemi su, za razliku od foto-grafskih emulzija, striktno linearni. Treća značajna stvar je da su ovi čipovi osjetljivi na crveni dio spektra. U praksi, CCD čipovi se hlade do, za neke svrhe, temperature tečnog helija.

Kada se slika, dobijena putem CCD tehnike, smjesti u memoriju kompjutera, tada se može, prema potrebi, analizirati na najrazličitije načine. Posljednjih godina, cijene ovakvih uređaja su postale pristupačne i amaterima. Zahvaljujući tome, i sa malim teleskopima, moguće je posmatrati i one objekte, koje su prije dvije decenije mogli opažati samo najveći teleskopi svijeta. CCD omogućavaju jednovremenu fotometriju svih zvjezdanih likova u vidnom polju.

Snimanja veoma slabih objekata ili njihovih spektara, nezamisliva su danas bez ovih detektora. No dalje povećavanje njihove kvantne efikasnosti neće značiti naročit dobitak. Nije moguće dostići teorijsku granicu od 100%. Zbog toga dalji razvoj tehnika za objekte slabog sjaja, mora ići povećavanjem prečnika teleskopa i njihovim lansiranjem van atmosfere.

ASTRONOMSKE OPSERVATORIJE

Već davno prije otkrića teleskopa, ljudi koji su se bavili astronomijom, podizali su posebne građevine za tu namjenu. Kasnije se spoznalo da

astronomski instrumenti moraju biti smješteni daleko od gradova, čija svjetlost i zagađena atmosfera, onemogućavaju kvalitetna posmatranja. Zbog toga, pri izboru mjesta za postavljanje opservatorije, mora da se vodi računa o astro-klimatskim uslovima.. Mjesto mora da ima što veći broj vedrih noći, nisku vlažnost zraka, tlo koje ne proizvodi prevelike turbulencije zračnih masa. Posebno je značajno da se instrumenti velikih prečnika smjeste na što kvalitetniju lokaciju. Za manje teleskope, ovi kriteriji nisu tako oštri.

Uobičajeno je da se za stalni smještaj teleskopa podižu posebne **kupole**, koje se slobodno okreću za 360°, a teleskop se, kroz poseban otvor, može usmjeriti na ma koji dio neba. Stub na kome se teleskop nalazi, treba da je masivan i, kod većih instrumenata, on prolazi kroz cijelu zgradu i ima svoj temelj. Uz opservatoriju se grade i druge potrebne zgrade sa prostorima za boravak, laboratorijama, radionicama, bibliotekom itd.

Savremene opservatorije se postavljaju na pažljivo ispitana mjesta. Među najbolje takve lokacije spadaju vulkanski vrh Mauna Kea na Havajima, Roque de los Muchachos na Kanarskim otocima, te Cerro Tololo i La Silla u Čileu. Zbog ograničenog broja ovakvih mjesta, opservatorije se danas podižu kao cijeli kompleksi sa većim brojem kupola. Troškovi izgradnje su tako veliki da se ide na udruživanje institucija, a takođe i država. Tako je zajedničkim naporima većeg broja evropskih zemalja, podignuta Južna evropska opservatorija (ESO) u području La Silla u Čileu.

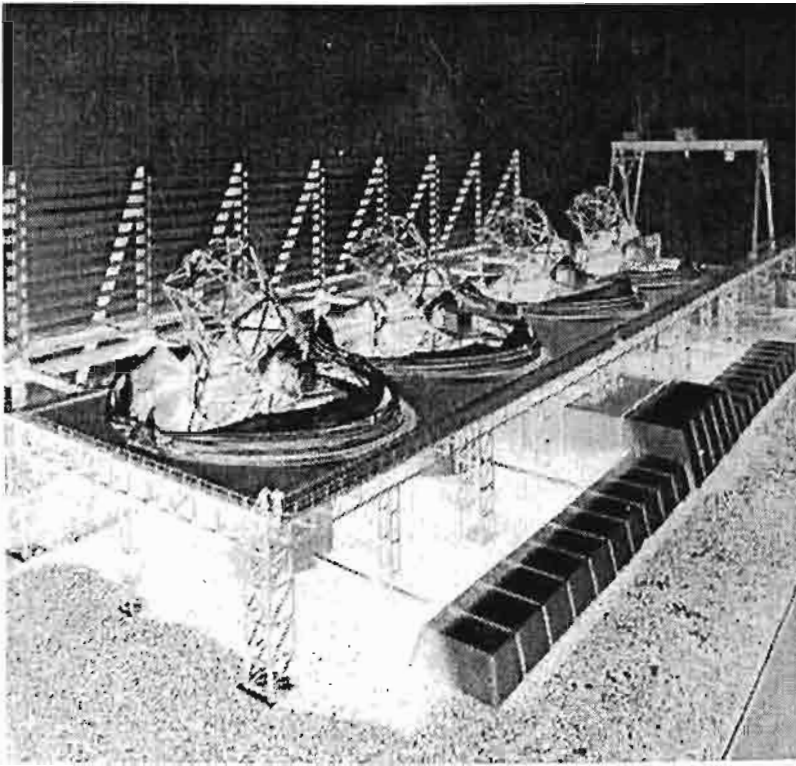
Tabela u prilogu knjige, sadrži popis najvećih teleskopa na svijetu, sa njihovim osnovnim podacima.



SI.181 Kupola od fiberglasa prečnika 3 m, u kojoj je bio smješten dvostruki astrograf Astronomске opservatorije u Sarajevu sa kamerama prečnika 83 mm i fokusa 375 mm.



SI.182 Panorama velikog kompleksa Južne evropske opservatorije (European Southern Observatory - ESO) koja je smještena na visoravni u čileanskim Andima.



Sl.183 Maketa najvećeg optičkog teleskopa na svijetu koji se upravo gradi za Južnu evropsku opservatoriju (ESO) u Čileu. Sistem od 4 teleskopa prečnika po 8 metara, ekvivalentan je jednom teleskopu koji bi imao prečnik od 16 metara.

ASTRONOMIJA U BOSNI I HERCEGOVINI

Počeci astronomije u našoj državi, povezuju se sa uspostavom osmanske uprave koja je započela 1463. godine sa padom Bosanskog kraljevstva. Naravno, neki oblici astronomskih simbola mogu se pronaći na stećcima kao autohtonim spomenicima bogumilske religije koja je svoju kulminaciju doživjela upravo u Bosni. Simboli Sunca, Mjeseca i zvijezda sreću se tako isklesani u kamenim gromadama razasutim širom naše domovine.

Sa islamom, kao novom religijom, Bosna i Hercegovina se pridružuje jednom drugačijem kulturnom i povjesnom krugu - islamskoj civilizaciji. Pojedina vjerska pravila koja je uspostavio islam bila su, pored ostalog, vezana i uz tačno određivanje vremena. U početku se to radilo na najjednostavniji način, mjerenjem

dužine sjene koju je vertikalno poboden štap ostavljao na tlu. Kasnije dolazi do konstruiranja i pravih sunčanih satova. Po originalnosti, ističe se vertikalni sunčani sat na zidu Hadži Ali-begove džamije u Travniku.

Razni putnici i državni službenici koji su dolazili sa Bliskog istoka, donosili su i preciznije instrumente za mjerenje vremena. Najčešće su se koristili **astrolab-kvadranti**, poznati u BiH kao **rub'tahte**. Pomoću njih lako se, mjerenjem visine Sunca, određivao vremenski trenutak posmatranja. Takođe se susreću u upotrebi i **almukantarat-kvadranti** i **sinus-kvadranti**.

U Bosnu i Hercegovinu pristiže i astronomska literatura na arapskom i persijskom jeziku. Dio tih manuskripta je sačuvan u Gazi Husrev-begovoj biblioteci u Sarajevu.

Prvi poznati bosanski astronom, koji se spominje u pisanim dokumentima, bio je **Hadži Jusuf Livnjak** koji je živio u 16 stoljeću. Poznati ljetopi-

sac, **Mula Mustafa Bašeskija**, i sam se interesirao za astronomiju. On je u svojim rukopisima ostavio veći broj astronomskih bilješki o pomračenjima, pojavi sjajnih kometa i meteora.

Prve zvanične astronomske institucije u našoj zemlji bile su **muvekithane** ili **sahatnice**. U Sarajevu je prva muvekithana bila podignuta uz Carevu džamiju 1853. godine. U ovakvim ustanovama, počelo je korišćenje i drugih instrumenata kao što su oktanti i sekstanti, koji su kupljeni uglavnom na Zapadu. Po cijeloj Bosni i Hercegovini, u svrhu javnog objavljivanja tačnog vremena, bile su podignute i **sahat kule**. Ukupno se zna za 21 ovakav objekat.

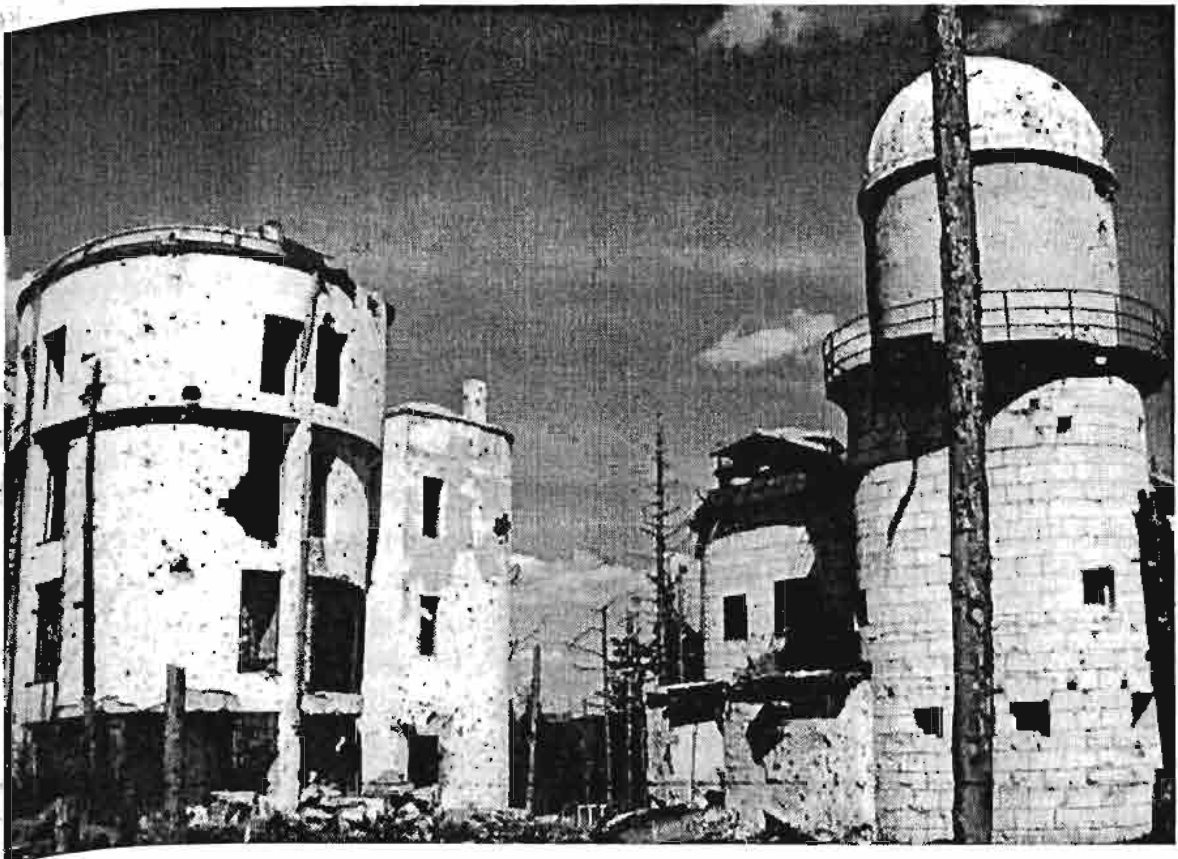
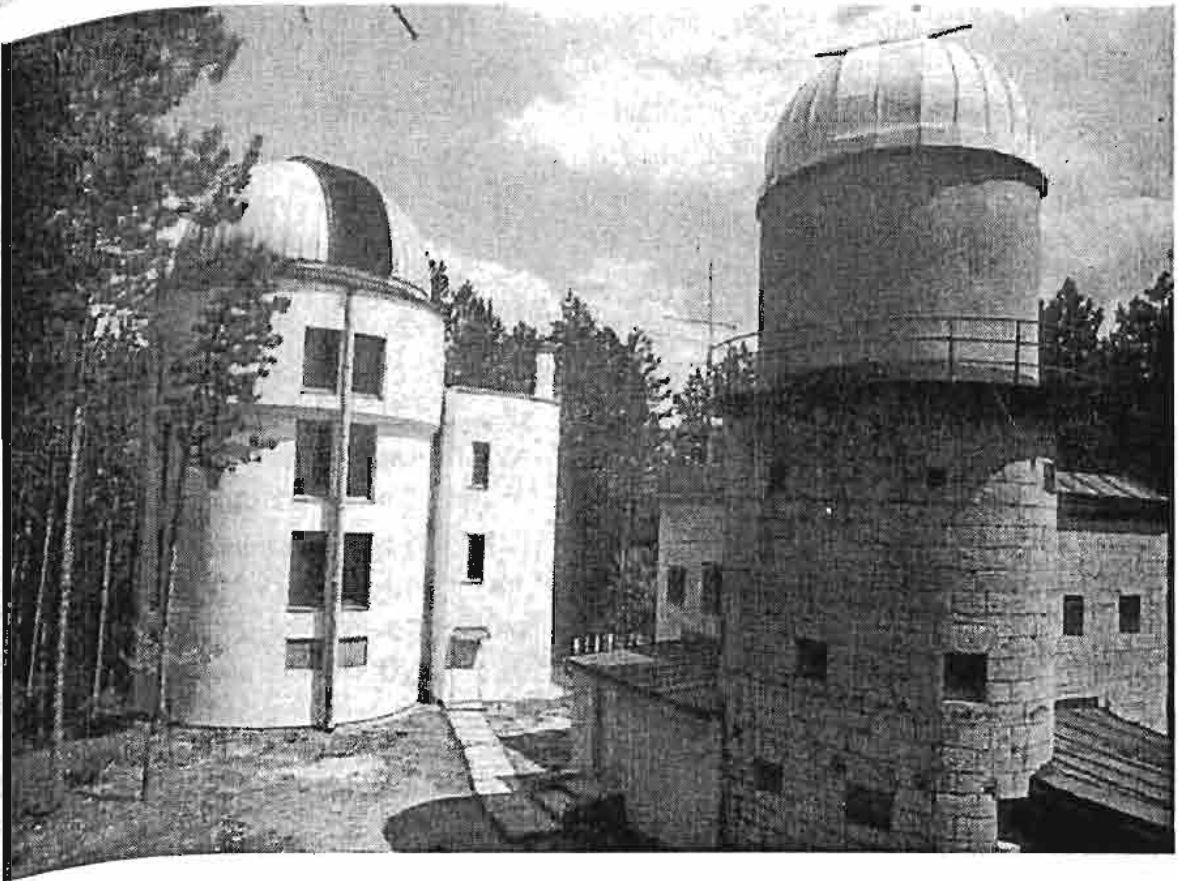
Sa dolaskom Austro-ugarske, nije bilo vidnijeg napredka u astronomiji. Ali, u BiH ipak prodira literatura i dolaze ljudi koji su posjedovali određena astronomska znanja. Bilo je i pokušaja osnivanja Astronomske opservatorije (**Branimir Truhelka**), ali je Prvi svjetski rat zakočio ove korake. Do Drugog svjetskog rata, astronomija je kod nas bila prisutna u školskom programu kroz predmet Kozmografije.

Nakon drugog svjetskog rata, bilo je nekoliko pokušaja sa se uspostavi neka posmatračka stanica ili opservatorija. Može se smatrati da astronomija kao nauka počinje u BiH 1963. godine. Tada je osnovano današnje **Univerzitetsko astronomsko društvo**. Pri osnivanju njegov naziv je bio Akademski astronomsko-astronautički klub. Dvije godine kasnije, na zgradi tadašnjeg Doma izviđača, otvorena je **Narodna opservatorija "Mejtaš"**. U početku se tu koristio teleskop reflektor prečnika 15 cm koji je kompletno izrađen u Sarajevu. 1972. godine on je zamjenjen modernijim Cassegrain

reflektorom prečnika 15 cm, a kasnije je postavljen refraktor tipa Unitron prečnika 102 mm. Osnovne aktivnosti na ovoj gradskoj opservatoriji bile su popularizacija astronomije i amaterski rad.

Oko Narodne opservatorije formirala se grupa ljudi koja je u periodu od 1968 - 1982. godine izgradila **Astronomsku opservatoriju na Trebeviću**, u blizini vrha Čolina kapa. Skupština grada Sarajeva je Društvu dodjelila napuštenu austro-ugarsku tvrđavu koja je dobrovoljnim radom članova preuređena u objekat za astronomske potrebe. Radilo se o, za naše prilike, ogromnom zahvatu kada se uzme u obzir kompleksnost objekta i mali broj ljudi koji su u svemu tome učestvovali. Na adaptiranoj austro-ugarskoj tvrđavi su najprije bile podignute dvije kupole sa prečnicima 3 i 4,5 metara. U jednoj je bio smješten 30 cm reflektor izuzetno kvalitetne optike koja je poklonjena od strane finskog astronoma Y. Waisala-e. U manjoj kupoli nalazio se dvostruki astrograf sa kamerama prečnika 83 mm i fokusa 375 mm.

Pokraj tvrđave, vlastitim snagama izgrađena je nova četvorospratna zgrada sa kupolom prečnika 8 metara. U ovoj kupoli je bio smješten teleskop reflektor prečnika 0,62 metra i fokusa 12,40 metara. Ovaj teleskop je proizvela londonska firma "Fullerscopes". Instrument je kasnije prerađen vlastitim snagama u Sarajevu, kako bi mu se poboljšale elektronsko-mehaničke performanse. Umjesto pune cijevi uvedena je rešetkasta konstrukcija koja smanjuje strujanja zraka i time treperenje slike, a mehanizam je poboljšan montažom pogona sa step motorima koje kontrolira kompjuter.



Sl. 184. Pogled na zgrade Astronomске opservatorije u Sarajevu: prije agresije na BiH (gore) i nakon njihovog razaranja (dole) tokom opsade grada Sarajeva.

Glavna aktivnost opservatorije bila je popularizacija astronomije, edukacija učenika i studenata, te stručni i naučni rad. Postignuti su solidni rezultati na astrofotografiji. Oni su započeli još 1968. godine, a korišten je priručni astrograf načinjen adaptacijom malog teleskopa 80/800 mm. To su bili pionirski radovi u oblasti amaterske astrofotografije na prostorima bivše Jugoslavije. Oni su kasnije podignuti gotovo na profesionalni nivo (za uslove tog vremena) i kulminirali snimanjem "**Sarajevskog atlasa neba**", projekta koji je sproveden u periodu 1972 - 1979. godine.

Granična prividna veličina objekata snimljenih na pločama Sarajevskog atlasa neba iznosila je oko 14,5". Čitava ova staklena biblioteka je uništena tokom napada na opservatoriju koji je izveden krajem jula 1992. godine. Na oko 800 crvenih i 800 plavih ploča tipa Kodak 103a-E i 103a-O, formata 9X12 cm, snimljeno je cijelo nebo sjeverno od deklinacije -10° . Ploče su snimane tako da su se preklapale u prosjeku oko 1° . Manji dijelovi ovog materijala iskorišteni su kao podloga za pojedine knjige i časopise.

U kasnijoj fazi i neposredno prije početka agresije na RBiH, glavna astronomska aktivnost na Opservatoriji je bila fotoelektrična fotometrija Be i "shell" zvijezda. Pri tome se saradivalo sa opservatorijama Hvar u Hrvatskoj i Ondrejov u Češkoj. Zapis sa fotometra registriran je na pisaču, a podaci su kasnije obrađivani na personalnom kompjuteru Apple IIc. Također je, u okviru posebnog programa koji je trajao tri godine, vršeno patrolno snimanje bolida pomoću posebnih kamera tipa "fish eye" kod

kojih na jednu foto ploču staje cijelo nebo.

U toku 1991. godine, vlastitim trudom i uz pomoć stručnjaka opservatorije Ondrejov u Češkoj, 30-cm reflektor je zamjenjen novim teleskopom. Radilo se o teleskopu reflektoru prečnika 40 cm Cassegrainovog tipa namjenjenom također za fotoelektričnu fotometriju. Svi opisani instrumenti i sama opservatorija su uništeni tokom napada na Sarajevo.

Univerzitetsko astronomsko društvo bilo je do početka rata i najveći izdavač astronomske literature na teritoriji ex-Jugoslavije. Prva knjiga "Astronomija", pojavila se 1972. godine i predstavljala prekretnicu u razvoju amaterske astronomije na balkanskim prostorima. Generacije mladih su svoje prve astronomske korake počinjale sa ovom knjigom jer drugih tada gotovo i nije bilo. Slijedeća knjiga, "Praktična astronomija" dala je podsticaj ukupnom razvoju amaterske astronomije sredinom sedamdesetih godina. Društvo je ukupno izdalo oko 30 knjiga, publikacija i edukativnih postera sa polja astronomije. Vrijedno je pomenuti izdavanje karata Mjeseca, zvjezdanog neba i Sunčevog Sistema, te najkvalitetnije vrteće karte neba u bivšoj Jugoslaviji.

Važno je također istaći da se astronomija kao predmet izučava na građevinskom fakultetu (odsjek geodezije), te na Prirodno matematičkom fakultetu (odsjek za fiziku).

Tokom rata, članovi Društva koji su ostali u Sarajevu, svoje znanje su uložili u potrebe odbrane grada i RBiH od agresije. U okviru novih inicijativa, astronomija na nivou države započinje svoj drugi život u sistemu Federalnog meteorološkog zavoda BiH.

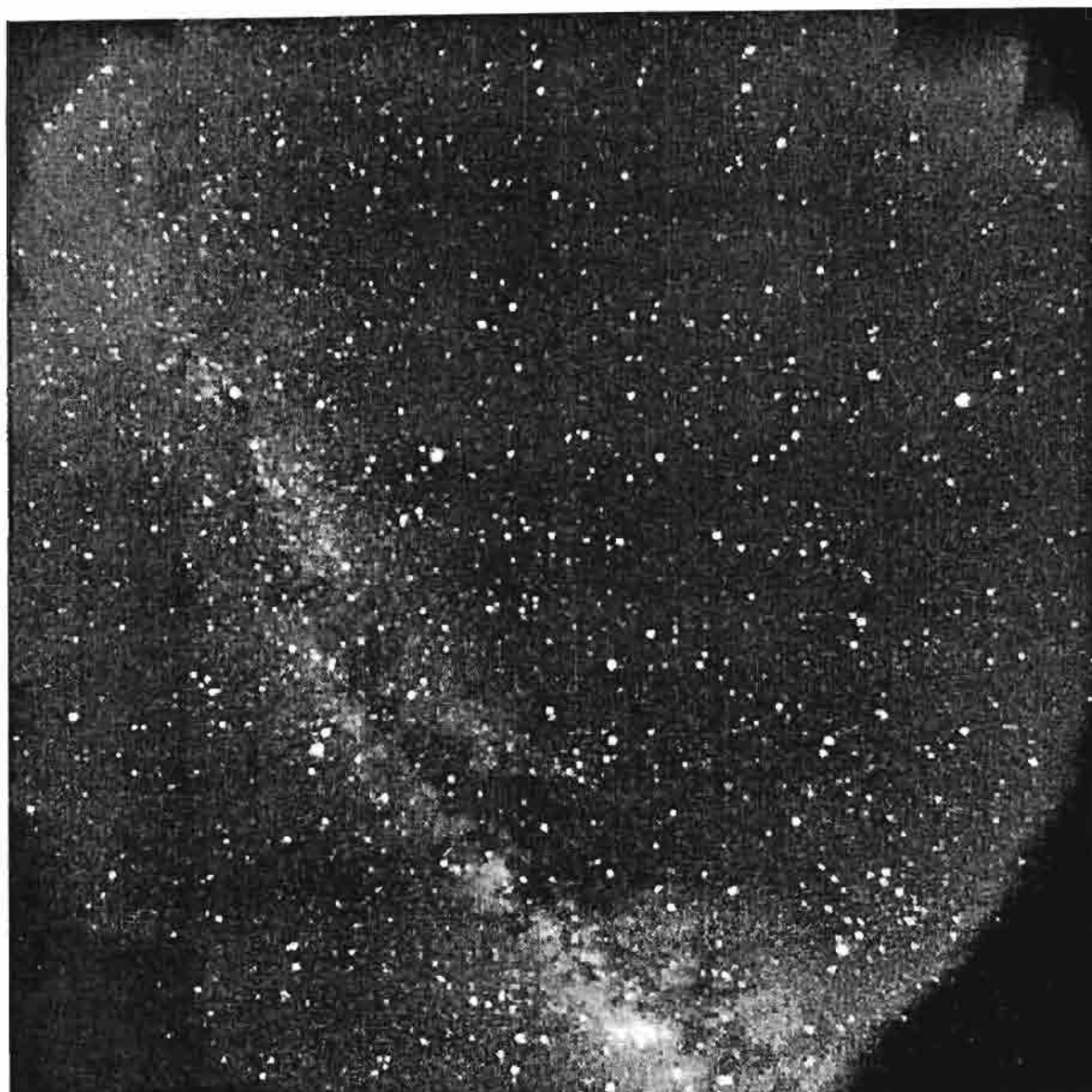
4. ZVIJEZDE

KRATKA POVIJEST ASTROFIZIČKIH ISTRAŽIVANJA

U dugom periodu, do otkrića teleskopa, zvijezde su poimane kao nepomične tačke različitog sjaja. Iako su oduvijek privlačile pažnju ljudi, o njihovoj pravoj prirodi nije bilo niti slutnje. Samo su rijetki umovi, tokom milenijuma, pomišljali da bi te daleke treperave tačkice možda bile druga, daleka Sunca. U praktičnom pogledu, zvijezde su služile pomorcima i drugim putnicima da pronađu puteve u daleka prostranstva. Tada su im jedini orijentiri bile grupe zvijezda koje je ljudska mašta povezivala u sazviježđa. Prastari naziv, zvijezde stajačice, koje kao da su jednom za uvijek učvršćene na ogromnoj nebeskoj kugli, ukazuje na dugo vremena zakovano mišljenje da su one vječne i nepromjenljive. Tračak sumnje u ovakav pristup unosile su povremene pojave sjajnih novih, ili supernovih zvijezda.

Otkriće teleskopa omogućilo je razvoj astronomije uopće, a posebno napredak saznanja o pravoj fizičkoj prirodi zvijezda. Mnogobrojna tehnološka otkrića koja su nastala kasnije, primjenjivana su skupa sa teleskopima. Posebno važnu ulogu imalo je otkriće fotografije. Francuz **Louis Daguerre** je 1839. godine objavio da je pronašao način da "zamrzne" slike posebnim hemijskim postupkom. Već 1845. godine, **Fizeau** i **Foucault** dobijaju prvi kvalitetan snimak Sunca. Na Harvardskoj opservatoriji, **William Bond** 1856. godine uspijeva da prvi snimi jednu zvijezdu. Bila je to Vega. U periodu od 1876 - 1882. godine, **William Huggins** počinje sa snimanjem kometa, zvijezda i maglina i to na suhim pločama. U prethodnom razdoblju se koristila metoda mokrih ploča koje su za astronomiju bile krajnje nepogodne.

Uskoro započinju i prvi radovi na mjerenju paralaksi zvijezda, odnosno njihovih udaljenosti uz pomoć fotografije. U Oxfordu mjere udaljenosti 30



Sl. 185 Zvezdano nebo na snimku načinjenom kamerom sa objektivom "riblje oko". U blizini središta snimka je sazviježđe Lire sa Vegom jednom od najsajnijih zvijezda na nebu.

zvijezda, a 1900. godine, **Jacobus Kapteyn** na opservatoriji Groningen, fotografski mjeri udaljenosti 250 zvijezda. Na Lick opservatoriji počinju snimanja galaksija i drugih slabijih objekata. Spoznaje se izuzetna korist fotografije pri pravljenju zvezdanih atlasa i kataloga. Tako se 1900. godine publikuje katalog tačnih položaja 454 875 zvijezda poznat kao "**Cape Photographic Durchmusterung**". To je bila dopuna čuvenog Argelander-ovog kataloga koji je rađen na osnovu direktnih, vizuelnih pos-

matranja i u astronomiji poznatog kao "**Bonner Durchmusterung**" ili **BD katalog**.

Pored primjene fotografije, radi se i na spektralnoj analizi. **Jozeph Fraunhofer** 1814. godine objavljuje otkriće 567 tamnih, apsorpcionih linija u spektru Sunca. **Anders Jons Angstrom** (1814 - 1874.) mjeri valne dužine 1000 linija u spektru Sunca. Istovremeno, tokom pomračenja Sunca 1868. godine, sir **Norman Lockyer** i **Pierre Janssen**, nezavisno jedan od drugog, opažaju u spektru

Sunca linije jednog novog, to tada nepoznatog elementa. On je nazvan helij i poslije vodika je osnovni građivi element u svemiru.

Osnivač zvjezdane spektroskopije bio je već pominjani **William Huggins** koji je prvi dokazao plinoviti karakter nekih maglina. Otac **Angelo Secchi** objavljuje 1868. godine prvu spektralnu klasifikaciju zvijezda. **Henri Draper** na Harvard opservatoriji snima spektar zvijezde Vege. Zvezdanim spektrima na ovoj opservatoriji bavili su se i **Williamina Fleming, Antonia Mauri i Annie Cannon**. Rezultat njihovog mukotrpnog višegodišnjeg rada bio je katalog spektara 225 300 zvijezda poznat kao "**Henry Draper Catalogue**" ili **HD katalog**. Posljednji svezak ovog kapitalnog djela izašao je 1924. godine.

1888. godine, fotografskim metodom, **Hermann Vogel i Julius Scheiner** mjere radijalne brzine zvijezda. Prve metode vizuelnog mjerenja sjaja promjenljivih zvijezda postavlja **W. Argelander**. Preciznu definiciju zvjezdanih magnituda odnosno skale njihovog sjaja, objavljuje 1856. godine **Norman Pogson**. Prvi vizuelni fotometar konstruirao **Johann Zollner** 1861. godine. **E. Pickering** mjeri i objavljuje vrijednosti sjaja 4260 zvijezda. To djelo izlazi kao "**Harvard Photometry**", a 1908. godine pojavljuje se prerađeno i dopunjeno izdanje nazvano "**Harvard Revised Photometry**". Fotografski metod mjerenja sjaja zvijezda prvi razrađuje **Karl Schwarzschild** u Gottingenu. Njegov katalog fotografskih magnituda 3689 zvijezda izlazi 1910. godine kao "**Gottinger Actinometrie**".

Prva fotoelektrična mjerenja sjaja zvijezda vrše 1913. godine **P. Guthnick, W. Meyer i H. Rosenberg**.

Frederik Sears publicira prvi katalog zvijezda oko sjevernog nebeskog pola. To je poznati **Sjeverni polarni niz (North Polar Sequence)** koji je Međunarodna astronomska unija 1922. godine prihvatila kao fotometrijski standard. Prvi moderni sistem fotoelektričnih magnituda ili **UBV sistem** uvode **Harold Johnson i William Morgan** 1953. godine.

1913. godine **Henry Russell** je, koristeći radove **Ejnara Hertzsprung-a**, objavio poznati dijagram koji povezuje spektralni tip zvijezde sa njenim apsolutnim sjajem. Fizikalnu interpretaciju spektralnih linija zvijezda na osnovu ionizacije teorije daje 1920. godine indijski fizičar **Megnad Saha**.

Fiziku zvjezdanih atmosfera su na osnovu teorije spektara razradili 1927. godine **Marcel Minnaert, Otto Struve i Albrecht Unsold**. Rotaciju zvijezda, na osnovu širine spektralnih linija, mjere **G.A. Šain, O. Struve i C. Elvey**. Prvi radovi na unutrašnjoj strukturi zvijezda pripisuju se **Johnatanu Laneu** (1819 - 1880). **Robert Emden** objavljuje 1907. godine knjigu "Gas-kugeln" (Plinovite kugle), gdje daje teoriju da su zvijezde građene od idealnog plina. Modernu teoriju unutrašnjeg stanja zvijezda daje engleski teoretičar **Artur Stanley Eddington** u periodu od 1916 - 1926. godine. Termonuklearne reakcije kao izvore zvjezdane energije, prvi uvode **Hans Bethe i Carl Von Weizsacker** 1938. godine. Dalje radove u tom smjeru objavljuju **Viktor Ambarcumian, Subrahmanan Chandrasekhar, Fred Hoyle i Martin Schwarzschild**.

Dalji razvoj astrofizike je ono što poznamo i pratimo u posljednjim decenijama ovog stoljeća i čega smo mi savremenici.

RASTOJANJA I KRETANJA ZVIJEZDA

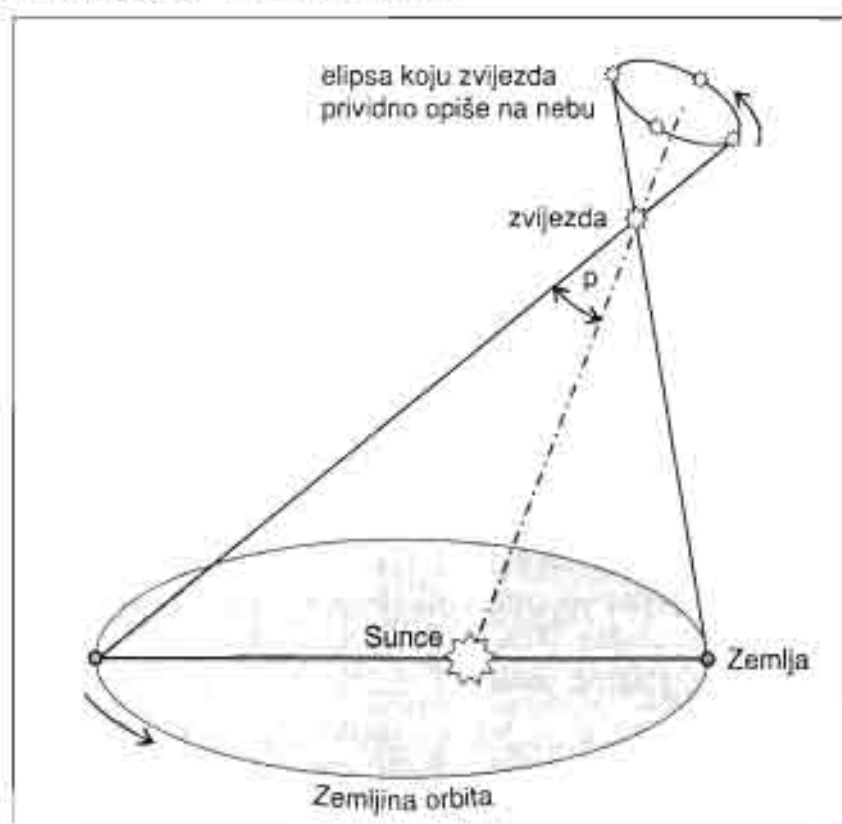
Jedna od prvih metoda za određivanje zvjezdanih udaljenosti bila je pomoću trigonometrijske paralakse. **Trigonometrijska paralaksa** je ugao pod kojim se sa neke zvijezde vidi velika poluosa Zemljine putanje oko Sunca. Da bi se taj ugao izmjerio, potrebno je posmatrati jednu zvijezdu sa dvije dijametralno suprotne tačke na kojima se Zemlja nađe pri svom godišnjem kretanju. Kao što vidimo na slici 186, to kretanje se manifestuje tako da nam se čini da zvijezda na nebeskoj sferi opiše jednu malu elipsu.

Pošto su zvjezdana rastojanja ogromna, to je paralaktično pomjeranje jedne zvijezde veoma malo. Za zvijezde na većim udaljenostima paralaksu nije moguće ni mjeriti. F.W.Bessel je 1837. godine izmjerio paralaksu zvijezde 61 Labuda, a

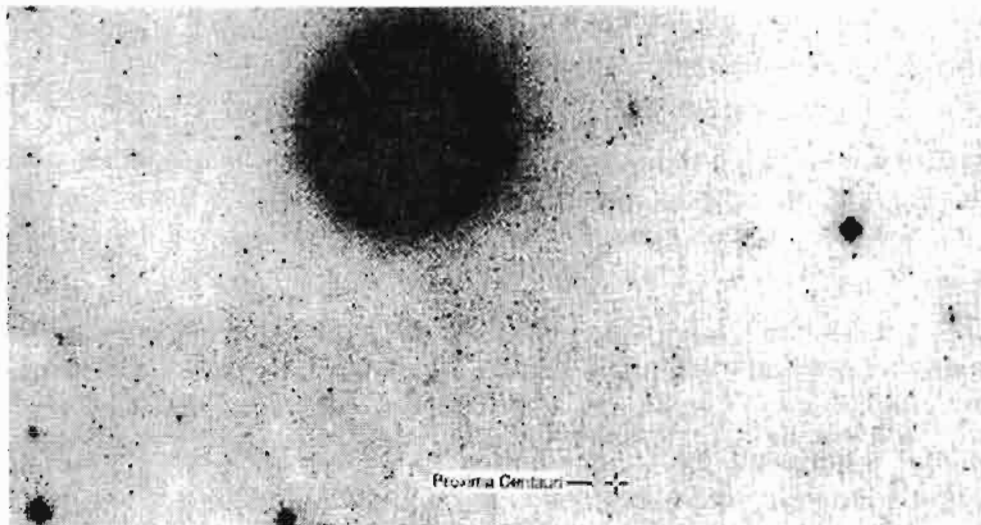
negdje u isto vrijeme Struve je odredio taj ugao za Vegu. Najveću paralaksu ima Proksima Centauri koja je Suncu najbliža zvijezda. Njena paralaksa iznosi 0,762". Poznavajući ovaj ugao, nije teško izračunati da je Proksima daleko 4,26 svjetlosnih godina.

Uređaji za mjerenje paralaksi moraju biti izuzetno precizni. Do sada je paralaktičkom metodom određena udaljenost nekih 7000 zvijezda. Inače, u astronomiji se za mjerenje udaljenosti koriste dvije jedinice. Jedna je svjetlosna godina koja predstavlja put što ga pređe svjetlost za godinu dana krećući se brzinom od oko 300 000 kms^{-1} . Druga jedinica je parsek ili pc. To je rastojanje sa koga se radius Zemljine orbite oko Sunca vidi pod uglom od jedne sekunde. Udaljenost neke zvijezde, izražena u parsecima, i njena paralaksa povezane su slijedećom relacijom:

$$d = 1/p$$



Sl. 186 Uz definiciju zvjezdane paralakse.



Sl.187 Proxima Centauri, Suncu najbliža zvijezda, označena je križićem na snimku iz kolekcije Južnog pregleda neba. Snimanje je obavljeno Schmidt kamerom Anglo-Australijske opservatorije u Siding Springu. Najsajnija zvijezda na snimku je alfa Centauri.

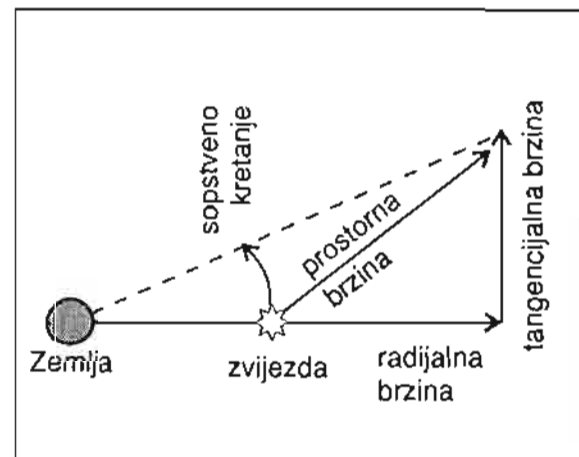
gdje je d udaljenost zvijezde, a p njena paralaksa. Jedan parsek ima 3,262 svjetlosne godine.

Zbog velikih udaljenosti na kojima se nalaze zvijezde, nije moguće, u kraćim vremenskim razmacima, opaziti neka njihova stvarna kretanja u prostoru. Precizna mjerenja su pokazala da bliske zvijezde imaju pomjeranja koja se mogu pouzdano ustanoviti. Kod zvijezda se, dakle, mogu uočiti sopstvena kretanja koja se manifestiraju u njihovim malim pomacima na nebu. U najopćijem slučaju, zvijezda može da se kreće u ma kom pravcu, a posmatrač sa Zemlje vidi neku od komponenti tog kretanja, ili ga uopšte ni ne primjećuje.

Ukoliko se izučavaju spektri zvijezda, onda se mjerenjem pomaka spektralnih linija prema crvenom ili ljubičastom kraju (Doppler-ov efekat), može odrediti ta komponenta brzine. Posmatrajmo kretanje zvijezde na slici 188. Njeno pravo kretanje u svemiru može se posmatrati kroz tzv. **prostornu brzinu**. Ona ima dvije komponente. **Tangencijalna brzina** je u

pravcu normalnom na pravac Zemlje - zvijezda, a **radijalna brzina** je tačno na pravcu posmatranja. Tangencijalnu komponentu možemo odrediti mjereći vrijeme za koje neka zvijezda pređe sićušni luk na nebeskoj sferi, a radijalnu brzinu saznajemo pomoću spektralne analize. Poznavajući ove dvije veličine, lako je odrediti pravu, prostornu brzinu zvijezde.

I Sunce, koje je zvijezda, ima svoje kretanje u prostoru. Ono se kreće prema jednoj tački koja leži na granici



Sl.188 Komponente sopstvenog kretanja neke zvijezde

sazviježđa Lira i Herkul. Brzina ovog kretanja je $19,5 \text{ kms}^{-1}$. Ova tačka je poznata kao **apeks**. Kada se posmatraju zvijezde u tom regionu neba, onda prividno izgleda da se one sve postepeno udaljavaju od te tačke, a to znači da se Sunce kreće u tom smjeru. Zvijezde na suprotnoj strani neba (**antiapeks**), pokazuju suprotne efekte.

Najveće sopstveno kretanje ima Barnardova zvijezda koja za godinu dana pređe na nebu luk od $10,27''$.

SJAJ ZVIJEZDA

Zvijezde, ta usijana zgušnjena materije razasuta po svemiru, nalaze se na najrazličitijim rastojanjima od nas. Zbog toga nam se pokazuju u različitom sjaju. Sjaj zvijezda, naravno, ne zavisi samo od njihovih udaljenosti. Fizička struktura, odnosno površinska temperatura i dimenzije, takođe utiču na veličinu sjaja koji do nas dopire.

Prvu poznatu skalu sjaja zvijezda uveo je grčki astronom **Hiparh**. On je sve zvijezde podijelio na šest razreda. Najsjajnije zvijezde u ovoj podjeli su proglašene zvijezdama prve veličine. Nadalje, sve do šeste veličine, ređaju se zvijezde sve slabijeg i slabijeg sjaja. U modernoj astronomiji, ta skala prividnih veličina proširena je preko nule u negativno područje (izrazito sjajne zvijezde), a dalje od šeste veličine do najslabijih objekata sa sjajem od preko 27. Ovdje se naravno radi o **prividnom sjaju**, tj. onoj veličini sjaja koju registrujemo direktno. Važno je reći da se u astronomiji najčešće koristi izraz **magnituda** (od latinske

riječi za veličinu). Skraćeno se magnituda piše kao malo slovo *m* u eksponentu broja koji definiše sjaj. Tako je Regulus zvijezda prividne magnitude ili veličine $1,4^m$. Sirius je, sa druge strane, zvijezda sa prividnom magnitudom od $-1,58^m$. Dakle, magnituda, veličina ili sjaj u ovom slučaju opisuju jednu te istu pojavu tj. karakterišu intenzitet svjetlosti koji dopire od zvijezda do nas.

Istovremeno sa prividnim sjajem, radi dobijanja podataka o stvarnom sjaju zvijezda, uvedena je **apsolutna veličina** ili **apsolutna magnituda** (**apsolutni sjaj**) neke zvijezde. Po definiciji, to je ona prividna veličina (sjaj) koju bi imala određena zvijezda kada bi se, teorijski, nalazila na udaljenosti od 10 parseka.

Kada se spoznalo da mjerenje sjaja zvijezda ima veliki značaj za astronomska istraživanja, tada se pristupilo traženju načina da se utvrdi konstantan odnos sjaja koji odgovara razlici dvije susjedne magnitude. Pri tome se težilo da se stara podjela iz praktičnih razloga ne mijenja već da se samo matematički preciznije definira. Također, vodilo se računa o tome da ljudski osjećaji imaju osobinu da spoljne nadražaje, čiji intenzitet raste po geometrijskoj progresiji, prevode tako da ih mozak prima u aritmetičkoj progresiji. Pokazalo se da je odnos sjaja dvije susjedne prividne veličine blizak 2,512. To znači da je, na primjer, zvijezda druge veličine 2,512 puta slabija od zvijezde prve veličine. Lako ćemo vidjeti da je zvijezda šeste veličine 100 puta slabija od zvijezde prve veličine. **Pogson** je postavio formulu koja povezuje intenzitet zračenja dvije zvijezde i njihove prividne veličine:

$$\frac{E_1}{E_2} = 2,512^{(m_2 - m_1)}$$

$$\log \frac{E_1}{E_2} = 0,4(m_2 - m_1) \quad (1)$$

$$m_2 - m_1 = 2,5 \log \frac{E_1}{E_2}$$

m_1 i m_2 su prividne veličine dvije zvijezde, a E_1 i E_2 su intenziteti zračenja koja od njih dopiru.

Sada ćemo ovu relaciju primjeniti na jednu te istu zvijezdu, pret postavivši da se ona u jednom slučaju nalazi na svom pravom rastojanju r , a drugi put na udaljenosti od 10 parseka:

$$\frac{E_0}{E} = 2,512^{m-M} \quad (2)$$

Ovdje je m prividna, a M apsolutna veličina jedne zvijezde. Pošto je jačina svjetlosti obrnuto proporcionalna kvadratu rastojanja, možemo pisati:

$$\frac{E_0}{E} = \frac{r^2}{10^2} \quad (3)$$

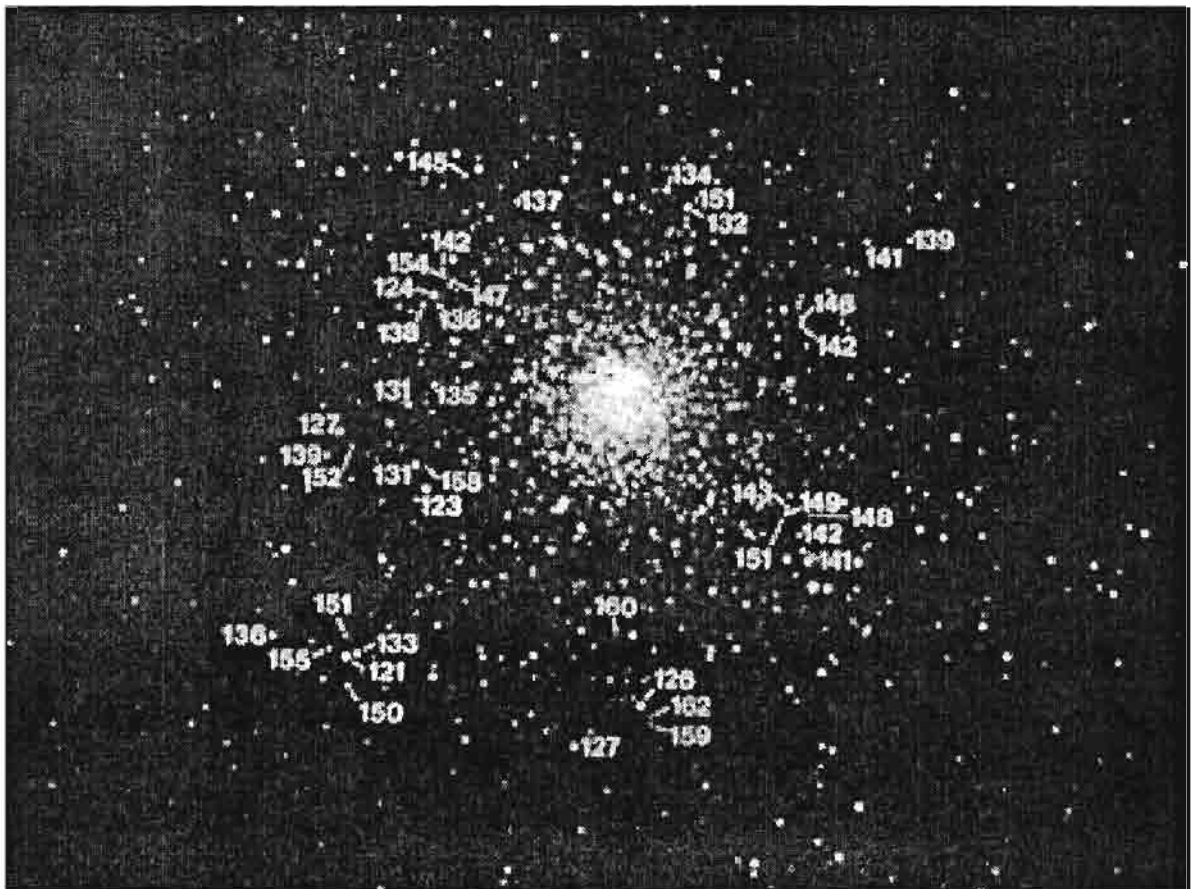
pri čemu je r izraženo u parsecima. Na osnovu (2) slijedi:

$$\frac{r^2}{10^2} = 2,512^{m-M} \quad (4)$$

Ako logaritmiramo izraz (4), dobićemo:

$$\begin{aligned} 2 \log r - 2 &= (m - M) \log 2,512 \\ \log 2,512 &= 0,4 \\ m - M &= 5 \log r - 5 \end{aligned} \quad (5)$$

Relacija (5) je poznata formula koja povezuje prividni sjaj zvijezde, njeno



SI.189. Kuglasti skup M5 sa oznakama prividnih veličina. Decimalna tačka iza druge cifre je iz praktičnih razloga izostavljen da ne bi došlo do konfuzije sa zvijezdama slabog sjaja. Tako np. oznaka 136 znači da se radi o zvijezdi koja ima prividni sjaj 13,6^m.

rastojanje i apsolutni sjaj. Poznavanje ma koje dvije, od ove tri veličine, omogućava izračunavanje one koja je nepoznata. Pošto je $r=1/p$, gdje je p paralaksa, izraz (5) može da se piše i u drugačijem obliku:

$$m - M = 5 \log p - 5$$

Prividna veličina Sunca iznosi $-26,7^m$. Sa udaljenosti od 10 parseka Sunce bi nam izgledalo sjajno poput zvijezde sa prividnom veličinom $4,8^m$ što predstavlja njegovu apsolutnu veličinu ili apsolutni sjaj.

Premda prividna i apsolutna veličina u praksi imaju važnu ulogu, ipak, u astrofizičkim razmatranjima, bilo je potrebno uvesti jednu sveobuhvatniju veličinu. To je **bolometrijska veličina** ili bolometrijski sjaj zvijezde. Ona se ne može mjeriti neposredno, a opisuje ukupno zračenje neke zvijezde. Poznato nam je da zemljina atmosfera i međuzvjezdana materija upijaju pojedine valne dužine svjetlosti.

U praksi se prividnoj veličini neke zvijezde dodaje tzv. bolometrijska popravka. Ona se lako izračunava ukoliko poznajemo temperaturu zvijezde i prividnu veličinu. Po principu koga smo već opisali, uvodi se i **apsolutna bolometrijska veličina**. popravka koja određuje dio zračenja koji zvijezda odaje u nevidljivim dijelovima spektra (infracrvenom ili ultraljubičastom). Tako je, npr., bolometrijska popravka za zvijezdu površinske temperature od 25 000 K, ravna $-2,7^m$.

U prošlosti su prividne veličine zvijezda bile određivane okom. Danas se, naravno, tako ne radi. Koriste se fotoelektrični uređaji, CCD čipovi ili fotografska emulzija. Kod korištenja

fotografije definisane su dvije prividne veličine. Jedna je nazvana **fotografska veličina** i mjeri se zacrnjenjem koga neka zvijezda izazove na fotografskoj emulziji osjetljivoj na plavi i ljubičasti dio spektra. Vizuelna veličina je ona koju mjeri ljudsko oko koje je, u toku evolucije, postalo osjetljivo na žuti i crveni dio spektra. Umjesto okom, vizuelna veličina se mjeri fotografski, tako da se koristi emulzija osjetljiva na žuti i crveni dio spektra. Pri tome se koristi i odgovarajuća kombinacija filtera koji propuštaju samo taj dio spektra. Ovako definirana veličina se naziva **fotovizuelna prividna veličina**. U astronomiji se fotografska veličina skraćeno obilježava sa m_{ph} , a fotovizuelna sa m_{pv} .

Razlika između fotografske i fotovizuelne veličine naziva se **kolor indeks** i označava sa CI .

$$CI = m_{ph} - m_{pv}$$

Kolor indeks zvijezda spektralnog tipa AO je jednak nuli. Plave zvijezde koje pripadaju tipovima O i B imaju negativne kolor indekse jer, na običnoj fotografskoj emulziji osjetljivoj na plavo, one izgledaju sjajnije nego na ploči sa emulzijom koja je osjetljiva na žuti i crveni dio spektra. Kao što smo sigurno uočili, što je prividna veličina brožčano manja, to zvijezda ima veću prividnu veličinu ili sjaj. Fotovizuelna prividna veličina biće za plave zvijezde veći broj, pa će izraz koji definiše kolor indeks biti negativan. Za žute i crvene zvijezde, kolor indeks je pozitivan što se lako pokazuje sličnim razmatranjem.

Poznavajući kolor indeks neke zvijezde, možemo približno odrediti njenu temperaturu i spektralni tip. Inače, apsolutno najsajjnija zvijezda

koju opažamo sa Zemlje trebala bi biti **S Doradus** ili HD 33 579 koja se vidi samo sa južnog neba. Prema apsolutnom sjaju od $-10,1^m$ ona je od Sunca sjajnija oko milion puta.

U modernoj astronomiji, fotoGRAFSKO mjerenje sjaja je već dugo zamijenjeno fotoelektričnim metodima ili upotrebom CCD detektora. Pri tome su definirani sistemi u kojima je, upotrebom filtera strogo određenih karakteristika, područje elektromagnetskog spektra koga pokriva svjetlost, izdijeljeno na uže oblasti. Klasični **Johnson-ov UBV sistem** koristi tri filtera. Filter **U** je ultraljubičasti i daje sjaj zvijezde u oblasti valne dužine od 360 nm. **B** filter je plavi i određuje sjaj u oblasti od 420 nm. Posljednji, **V** filter, je vizuelni filter i propušta svijetlost u oblasti spektra valne dužine od 540 nm. Kasnije su uvedeni i drugi sistemi koji se kreću postupno od ultraljubičastog do infracrvenog dijela spektra. Tako, za neku zvijezdu, možemo odrediti ultraljubičastu, plavu ili vizuelnu magnitudu, jednako kao i infracrvenu ili neku drugu.

TEMPERATURE ZVIJEZDA

Temperatura je po definiciji mjera energije koju sadrži neko tijelo. (Temperaturu ne treba pogrešno izjednačavati sa toplotom koja je oblik energije nekog tijela). Kada govorimo o temperaturi zvijezda, onda je to uvijek temperatura vanjskih slojeva sa kojih nam zračenje i dolazi. Ti slojevi su ono što obično nazivamo zvjezdanom atmosferom. O unutrašnjim temperaturama možemo prosuđivati

samo na osnovu raznih teorijskih modela.

Pomenuli smo da zvijezde imaju različite boje. To nas navodi na pomisao da su te boje različite uslijed različitih temperatura tih zvijezda. Grijemo li željezo, ono će od crvenog, preko žutog i plavog, doći do bijelog usijanja kada mu je temperatura najviša. U fizici se, inače, za razmatranja problema zračenja i apsorpcije energije, koristi jedan teorijski model koga nazivamo apsolutno crno tijelo. Zračenje zvijezda je uporedljivo sa zračenjem apsolutnog crnog tijela i zbog toga zakoni zračenja crnog tijela igraju važnu ulogu kod određivanja temperature zvijezda.

Jedan od zakona koji su bitni za apsolutno crno tijelo je **Štefan-Boltzmann-ov zakon**. Prema njemu, količina energije apsolutnog crnog tijela je proporcionalna četvrtom stepenu njegove apsolutne temperature (T) i veličini površine tijela (A):

$$E = \sigma T^4 A$$

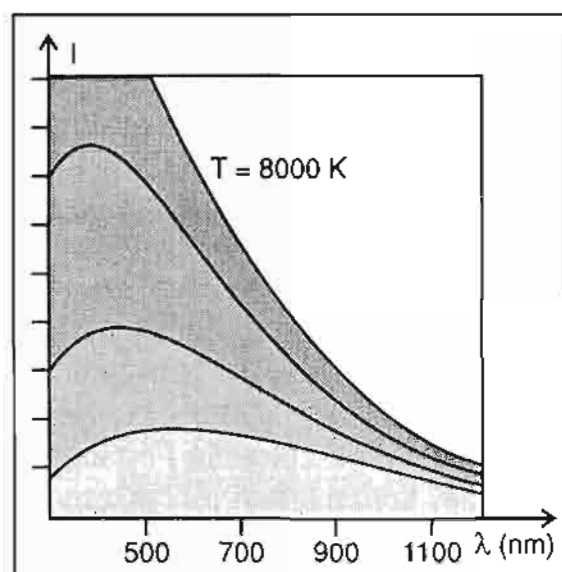
gdje je

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^2\text{K}^{-4}$$

Valna dužina na koju pada maksimum zračenja apsolutnog crnog tijela određuje se zakonom pomjeranja koji je formulisao **W.Wien**:

$$\lambda_{\max} = \frac{29 \cdot 10^5}{T} \text{ nm}$$

Na grafiku (sl.190), koji prikazuje zavisnost intenziteta zračenja od valne dužine za različite temperature, vidljivo je da sa porastom temperature, maksimum zračenja se pomjera ka ultraljubičastom dijelu spektra. Štefan - Boltzmann-ov zakon daje nam mogućnost određivanja efektivne tem-



Sl.190 Grafik Wien-ovog zakona

perature samo kod onih zvijezda za koje poznajemo uglovni prečnik. Zvijezda čiji je radius R , zrači u jednoj sekundi energiju:

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4$$

Ova energija se, na udaljenosti r od zvijezde, raspoređuje na površinu kugle radiusa r . Ova udaljenost r je u našem slučaju udaljenost zvijezde od Zemlje. Na jedinicu površine kugle pada energija:

$$E = \frac{4\pi R^2 \sigma T^4}{4\pi r^2} = \sigma T^4 \left(\frac{R}{r}\right)^2$$

Uglovni prečnik zvijezde, izražen u lučnim sekundama, iznosi:

$$\theta = 206265 \cdot \frac{2R}{r}$$

Slijedi:

$$T = 642,3 \sqrt[4]{\frac{E}{\sigma \theta^2}}$$

Vrijednost energije, E , se inače određuje preko bolometrijskih prividnih veličina date zvijezde (m_b) i Sunca

(m_{bs}). U formuli se pojavljuje i solarna konstanta E_s . Ta formula glasi:

$$\log \frac{E}{E_s} = 0,4(m_{bs} - m_b)$$

$$m_{bs} = -26,85$$

$$\log E = \log E_s - 10,74 - 0,4m_b$$

$$\frac{E_s}{\sigma} = 2,399 \cdot 10^{10}$$

$$\log \frac{E_s}{\sigma} = 10,380$$

Konačno dobijamo:

$$\log T = 2,718 - 0,1m_b - 0,5 \log \theta$$

Ovim metodom dobijene su efektivne temperature samo manjeg broja zvijezda za koje je nekim drugim načinom bilo moguće izmjeriti njihove ugaone prečnike (npr. pomoću interferometrijske metode).

Analiza zvjezdanih spektara omogućava nam da dođemo do podataka o rasporedu energije u spektru, a time i do procjene temperature. Temperatura se može procjenjivati i na osnovu kolor indeksa. U praksi se koriste i rezultati teorije ionizacije plazme u atmosferama koje okružuju zvijezde. Uvijek je moguće izračunati kolika je temperatura potrebna da bi se atom nekog elementa ionizirao određen broj puta, tj. da bi se od njega otrgnuo izvjestan broj elektrona. Veličina ionizacije određuje se pomoću spektralne analize.

Ova mjerenja provedena različitim metodama su pokazala da se temperature zvijezda kreću u prosjeku između 2800 i 30 000 K. Postoje naravno i odstupanja od ovoga, ali ona su rijetka i temperature ogromne većine zvijezda se kreću u ovim okvirima.

MASE ZVIJEZDA

Prvi pouzdani metod za mjerenje masa zvijezda bila je primjena trećeg Kepler-ovog zakona u obliku u kakvom ga je prikazao Newton. Ovakav pristup je moguće koristiti kod dvojnih zvijezda, prateći kretanja komponenti sistema. U našem primjeru posmatrat ćemo slučaj kada centralna zvijezda sistema ima veću masu od saputnika. U tom slučaju vrijedi jednačina:

$$M_1 + M_2 = \frac{4\pi^2 A^3}{G^2 p^2} \quad (1)$$

U prethodnoj relaciji G je gravitaciona konstanta, A je velika poluosa orbite saputnika, a P je period obilaska saputnika oko masivnije zvijezde. Da bi riješili ovu jednačinu, koristićemo je na primjeru Zemlje i Sunca čije mase i međusobno rastojanje znamo. Naša relacija tada ima oblik:

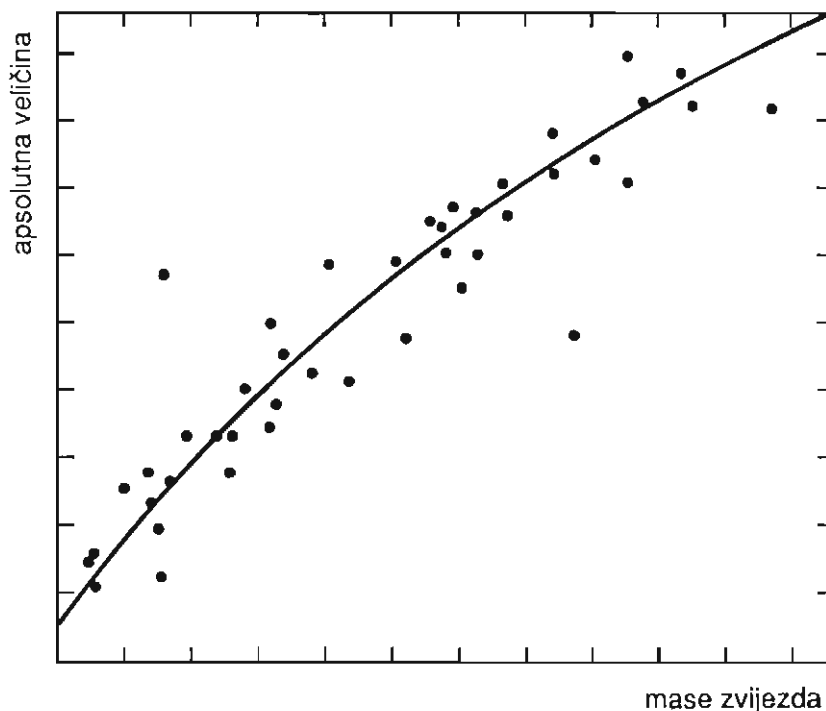
$$M_z + M_s = \frac{4\pi^2 A^3}{G^2 p_z^2} \quad (2)$$

Ako relacije (1) i (2) međusobno podijelimo i ukinemo masu Zemlje (M) kao zanemarljivo malu u odnosu na masu Sunca (M) i masu zvijezde, onda dobijamo:

$$\frac{M_1 + M_2}{M_s} = \left(\frac{A}{A_z} \right)^3 \left(\frac{p_z}{p} \right) \quad (3)$$

Iz jednačine (3) može se odrediti koliko je puta suma masa komponenti dvojnog sistema veća od mase Sunca. Za izračunavanje svake mase potrebno je posebno sprovesti prilično komplicirana mjerenja udaljenosti glavne zvijezde i saputnika od zajedničkog težišnog centra. Kada su u pitanju zvijezde koje su usamljene, tada ova metoda nije upotrebljiva.

Astronomi su došli do zaključka da postoji odnos koji povezuje masu zvijezda i njihov sjaj. Naime, pokazalo se da je zvijezda masivnija ako je njen apsolutni sjaj veći. Na slici 191 je grafički prikaz ove zavisnosti. Na apscisnu osu je nanesen je logaritam mase zvijezde, a na ordinatu njena apsolutna bolometrijska veličina.



Sl.191 Dijagram masa - sjaj kojim se procjenjuju mase zvijezda

Opisanu relaciju mase i sjaja zvijezde možemo izraziti i matematički izrazom u kome su T masa zvijezde, a M njen apsolutni sjaj.

$$T = 3,89 \cdot 10^{-1194M}$$

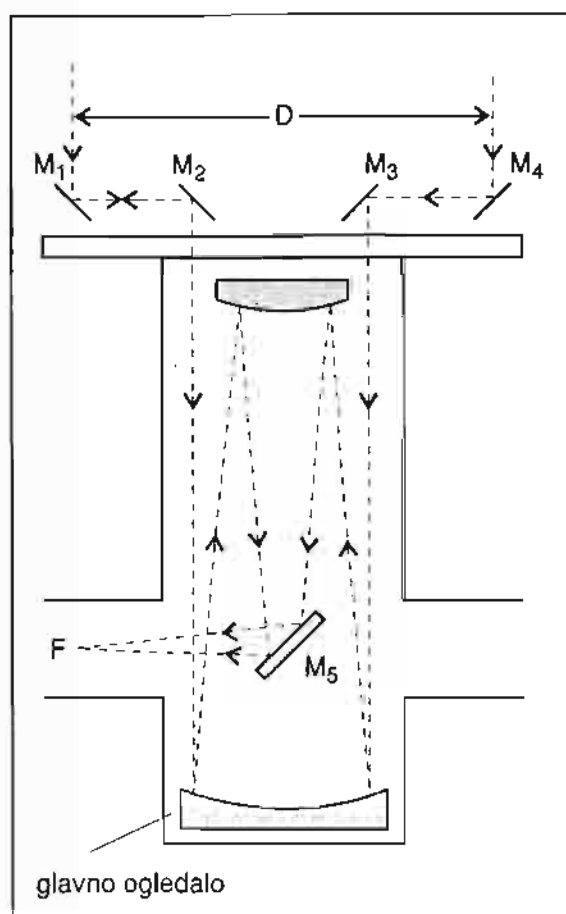
Ovdje je masa T izražena tako da je masa Sunca uzeta za jedinicu. Dijagram masa - sjaj je uspostavljen na osnovu izučavanja dvojnih zvijezda jer se tu mase mogu odrediti direktnim metodom. Zbog toga on ne mora u potpunosti važiti i za sve druge zvijezde ali se može koristiti kao dobra osnova za procjenjivanje masa zvijezda.

Pokazalo se da mase većine zvijezda nisu mnogo različite od mase Sunca. U prosjeku se te mase kreću u rasponu od 0,09 sunčevih masa (zvijezda **Wolf 359**), pa do 50 sunčevih masa (**Antares A**). Jedna od najmasivnijih poznatih zvijezda je HD 47129 ili **Plaskett-ova** zvijezda. To je spektralna dvojnica kod koje svaka od komponenti ima približno po 50 sunčevih masa.

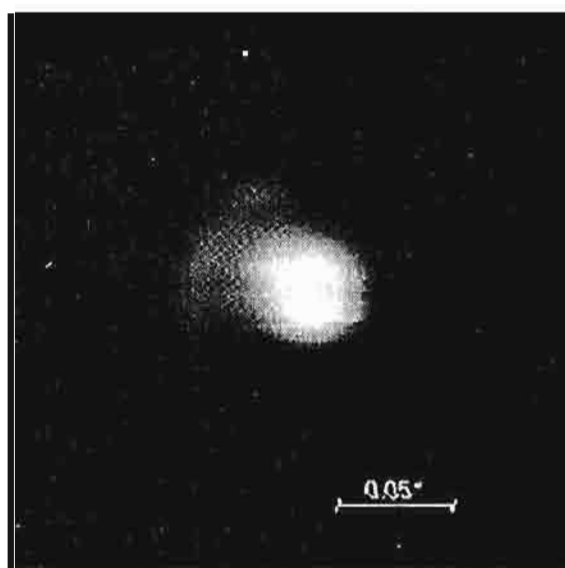
RADIUSI ZVIJEZDA

Kada zvijezde posmatramo i sa najvećim teleskopima na svijetu, njihovi likovi su i dalje tačkasti. Razlog su nezamislivo velike udaljenosti na kojima se one nalaze. Zato je nemoguće vršiti direktna posmatranja zvjezdanih diskova i time određivati njihove radiuse. Mjerenja dimenzija zvijezda počela su pomoću uređaja koje nazivamo optički interferometri. Prvi takav uređaj konstruisali su **Albert Michelson** i **Francis Pease** koristeći, tada, najveći teleskop na svijetu, reflektor prečnika 2,5 metara opservatorije Mount Wilson.

Crtež 192 prikazuje nam shemu ovog interferometra. Kao što se vidi,



SI.192 Michelson - Pease-ov interferometar. Na slici su: M_1 , M_2 , M_3 , M_4 i M_5 - ravna ogledala, a F fokus (žarište) teleskopa.



SI.193 Mogući izgled divovske zvijezde Betelgeze u Orionu. Slika je nastala kompjuterskom rekonstrukcijom pomoću teleskopa "Canada-France-Hawaii". Prema njoj zvijezda ima oblik elipsoida i vjerovatno je okružena oblakom prašinate materije.

Tabela 4.

Zvijezda	Ugaoni prečnik (")	Udaljenost (parasec)	Radius (r Sunca =1)
omikron Ceti	0.048	250 (?)	1290
alfa Orionis	0.041	91	430
alfa Scorpii	0.040	71	330
beta Pegasi	0.021	50	131
alfa Tauri	0.020	20	46
alfa Bootis	0.020	11.5	27

na prednjem dijelu teleskopa dva ravna ogledala na međusobnom rastojanju D . U slučaju Mont Wilsona, to rastojanje je bilo najprije 6 metara, a kasnije je povećano na 15 metara. Dva lika jedne iste zvijezde najprije putuju odvojeno, a kasnije se spajaju. Pri tome se formira interferenciona slika kao posljedica valne prirode svjetlosti. Mjerenjem ove slike moguće je doći do tačnih podataka o veličini uglovnog prečnika posmatrane zvijezde. U tabeli br.4 dati su uglovni prečnici nekih zvijezda dobijeni interferometarskim metodom. Poznajući udaljenosti tih zvijezda, moguće je bilo izračunati njihove radiuse (četvrta kolona u tabeli br.4). Ovdje je za jedinicu uzet radius Sunca.

Drugi metod za mjerenje uglovnih prečnika zvijezda temelji se na analizi interferencione slike koja nastaje kada neka zvijezda bude zaklonjena diskom Mjeseca (okultacija).

Postoje i posredni načini za mjerenje radiusa zvijezda. Tako možemo koristiti Štefan - Boltzmann-ov zakon. Ako je radius zvijezde R , onda je njena površina jednaka $4\pi R^2$ (cm^2). Svaki kvadratni centimetar zrači energiju, gdje je T temperatura površine zvijezde. Ukupno zračenje te zvijezde (L), u jednoj sekundi, tj. njen sjaj je jednak:

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4$$

Prema tome, ako poznajemo sjaj zvijezde ili njenu apsolutnu bolometrijsku veličinu i površinsku temperaturu, lako možemo procjeniti i veličinu radiusa.

Radiusi većine zvijezda se ne razlikuju previše od sunčevog radiusa. Pored divovskih zvijezda koje su predstavljene na tabeli 4, postoje i patuljaste. Tako **Van Maanen-ova zvijezda** ima radius 0,007 radiusa Sunca.

PRITISCI I TEMPERATURE U SREDIŠTIMA ZVIJEZDA

Većina zvijezda, koje smatramo normalnim, nalazi se u nekoj vrsti ravnotežnog stanja. One su, uslovno rečeno, plinovite kugle čiji se radius ne mijenja u dužim vremenskim razmjerama, te ne postoje ni druge nagle i periodične promjene kakve, recimo, srećemo kod promjenljivih zvijezda. Plinovita kugla koja predstavlja zvijezdu, sastoji se iz ogromnog broja čestica - atoma, iona i elektrona. Prema opštem zakonu

gravitacije, sve čestice se međusobno privlače silom koja je proporcionalna njihovim masama, a obrnuto proporcionalna kvadratu rastojanja između njih. To se može izraziti na slijedeći način:

$$F = f \frac{M_1 M_2}{r^2} \quad (1)$$

gdje su F sila gravitacije među česticama, f je konstanta gravitacije, M_1 i M_2 su njihove mase, a r rastojanje između čestica. Privlačna sila između pojedinih atoma ili subatomske čestice je mala. Međutim, krajnja, rezultantna sila za ogroman broj čestica, postaje veoma velika. Pod djelovanjem sile gravitacije zvijezda se skuplja odnosno, njene čestice "padaju" ka centru. No, već smo konstatairali da su zvijezde po pravilu stabilne, tj. radius im se ne mijenja u dužim vremenskim periodima. Znači, mora postojati neka druga sila, suprotnog smjera koja se suprostavlja gravitaciji. Ta sila je sila pritiska plina. Ona teži da plin raširi za razliku od gravitacione sile koja ga skuplja. Kada su ove dvije

sile u ravnoteži, zvijezda je u stabilnom stanju.

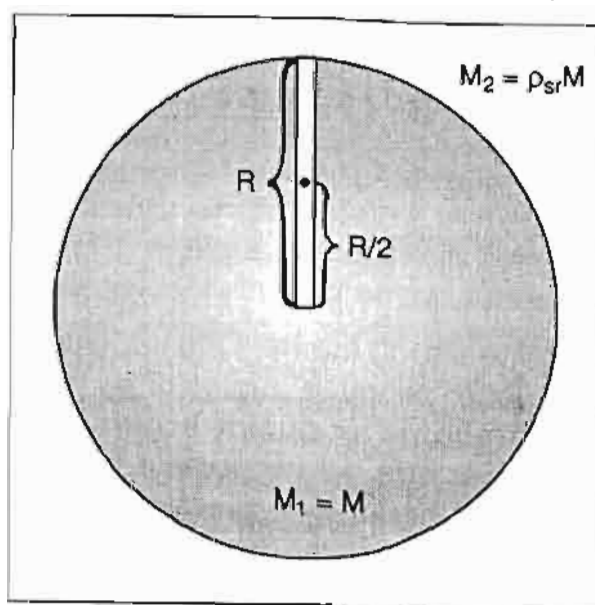
Da bi smo čitav problem razmotrili jednostavnim matematičkim aparatom, posmatraćemo stub materije, cilindričnog oblika sa poprečnim presjekom od jednog kvadratnog metra. Neka se on pruža od središta do periferije zvijezde (Sl.194).

Pritisak koji postoji u blizini centra zvijezde mora da uspostavi ravnotežu sa težinom našeg stuba materije. Neka M_1 iz relacije (1) bude u našem slučaju označeno sa M i neka predstavlja masu čitave kugle (zvijezde). Neka je M_2 masa stuba. Sa ρ_{sr} ćemo označiti srednju gustinu plina u stubu. Umjesto mase M_2 možemo koristiti srednju gustinu pomoću relacije $M_2 = \rho_{sr} R$, gdje je R radius kugle. R je u slučaju našeg stuba ustvari njegov volumen jer je poprečni presjek 1 m, pa kada ga pomnožimo sa visinom tj. sa R , dobijemo vrijednost R za volumen. Rastojanje između centra kugle i sredine stuba je $R/2$. Težina stuba, koju ćemo označiti sa p , iznosi:

$$p = f \frac{M r_{sr} R}{(R/2)^2} = 4f \frac{r_{sr} M}{R} \quad (2)$$

Ova formula je približna, jer smo zanemarili činjenicu da se razni dijelovi stuba privlače različitim silama. Oni slojevi koji su bliže površini trpe privlačenje čitave kugle, a slojevi oko središta privučeni su samo masom u tim dijelovima. Formulu bi mogli poboljšati kada bi smo poznavali raspored gustine materije unutar zvijezde i još neke podatke. U ovom razmatranju važno nam je da shvatimo samo suštinu, pa ćemo te činjenice zanemariti.

Formula (2) koja definira težinu stuba, treba da bude jednaka pritisku



Sl.194 Shematski prikaz zvijezde sa stubom materije koga koristimo za izračunavanje pritiska u središtu zvijezde.

plina u blizini središta kugle. Kada uvrstimo vrijednost za masu, radius i gustinu Sunca, dobit ćemo podatak da u centru nama najbliže zvijezde vlada pritisak od oko $2,2 \cdot 10^{16}$ Pa.

U fizici se došlo do tzv. jednačine stanja idealnog plina. Prema njoj, proizvod jednog gram mola plina i njegovog pritiska, jednak je univerzalnoj plinskoj konstanti pomnoženoj sa temperaturom:

$$pV = RT \quad (3)$$

Za jedan mol, univerzalna plinska konstanta R ima vrijednost od $8,314 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$. U našem razmatranju, pogodnije je formulu (3) napisati u nešto drugačijem obliku. Sa μ ćemo označiti molekularnu težinu zvjezdanog plina. Gustina zvjezdanog materijala je $\rho = \mu V^{-1}$, a jednačinu stanja idealnog plina možemo napisati u obliku:

$$P = \frac{\rho}{\mu} R \cdot T \quad (4)$$

Pritisak u središtu Sunca može biti uzrokovan bilo velikom temperaturom, bilo izuzetno velikom gustinom. Takođe je moguće da su oba uzroka sjedinjena zajedno. Srednja gustina Sunca i većine zvijezda je mala. Vanjski slojevi su razrijeđeni, dok je gustina u unutrašnjostima veća. No, te gustine nisu tako velike da bi se njima mogli objasniti ogromni pritisci. Iz ovog razmatranja treba isključiti zvijezde kao što su bijeli ili crveni patuljci. Njihova građa je drugačija. Prethodno razmatranje nas vodi zaključku da uzrok ogromnih pritisaka u središtima zvijezda potiče od temperature. Te temperature određujemo ako iz formule za jednačinu stanja idealnog plina pritisak izjednačimo sa težinom posmatranog stuba.

$$p_c = \frac{A}{\mu} \cdot \rho_c \cdot T_c = 4f \frac{\rho_{sr} M}{R} \quad (5)$$

Ovdje su ρ_c i T_c gustina i temperatura u središtu kugle. U formuli se, kako vidimo, pojavljuju srednja i centralna gustina. Postavlja se pitanje koliko je gustina u centru veća od srednje gustine. Detaljna teorijska razmatranja daju odgovor na ovo, a mi ćemo ovdje uzeti da je odnos $\rho_c = 4\rho_{sr}$. Time se rješavamo gustine iz formule (5), a pokazuje se da ovakva aproksimacija odgovara stvarnom stanju. Time konačno dolazimo do formule za temperaturu u središtu zvijezda:

$$T_c = \frac{\mu f M}{AR} \quad (6)$$

Dakle, poznavajući masu zvijezde, njen radius i molekularnu težinu materije, možemo sa dovoljnom tačnošću odrediti vrijednost temperature u središtu. Molekularna težina se određuje dodatnim teorijskim pristupom u koji ovdje nećemo ulaziti. Kada se uvrste vrijednosti, u slučaju Sunca, dolazi se do podatka da je temperatura u središtu 14 miliona stepeni. Vega ima 18 miliona, Procion 8 miliona itd.

ZVJEZDANI SPEKTRI

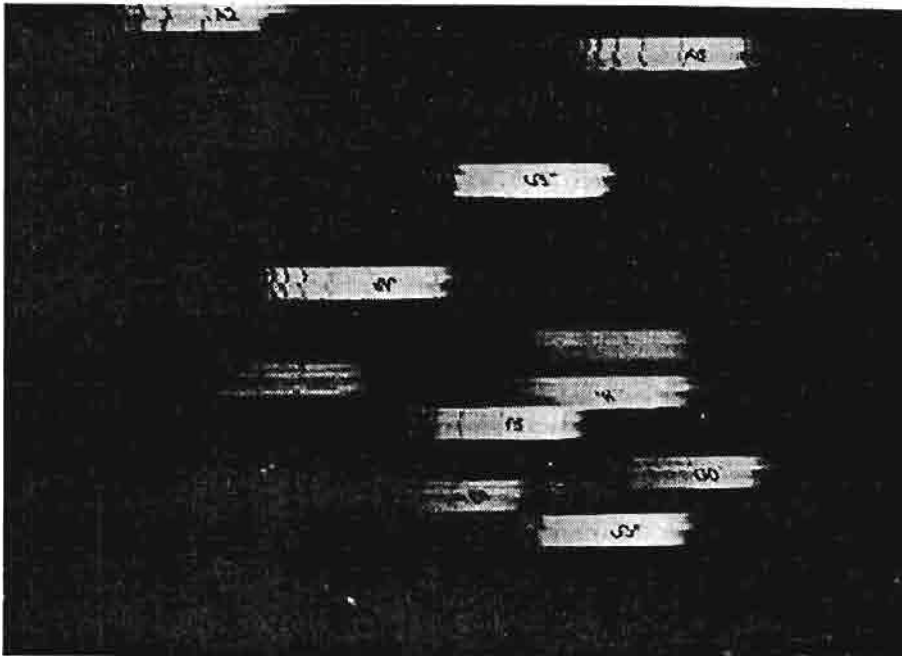
Već su prva spektralna posmatranja pokazala da su zvjezdani spektri tipični apsorpcioni spektri, odnosno, da se kod njih kao i kod Sunca javlja neka vrsta atmosfere u kojoj se upijaju pojedine valne dužine. Iako su opažani najrazličitiji spektri ipak su uočene neke osobine koje su omogućile njihovu klasifikaciju. Osnovna uočena osobina zvjezdanih spektara je njihova linearnost. Ona se sastoji u tome

da između dva spektra koji se veoma razlikuju, uvijek možemo da nađemo dovoljan broj drugih spektara koji su smješteni između njih. Time je prelaz od jednog ka drugom spektru postupan.

Ova linearnost nam ukazuje da se razlike u izgledu spektara zvijezda ne mogu tumačiti hemijskim sastavom zvijezda, izuzev nekih specijalnih slučajeva. Naime, ako bi se zvijezde međusobno potpuno razlikovale po svom hemijskom sastavu, onda bi moralo doći do najrazličitijih kombinacija kada je u pitanju procenat prisutnosti pojedinih hemijskih elemenata. Tada spektri ne bi mogli da čine jedan linearan niz već bi se moglo zamisliti beskonačno mnogo spektara čiji bi izgled zavisio od omjera u kojima se pojavljuju pojedini elementi.

U praksi ustanovljena linearnost pokazuje da spektri zvijezda zavise uglavnom od jednog faktora. To je temperatura. Da bi smo pokazali kako se sprovodi utjecaj temperature na

spektar neke zvijezde, reći ćemo nešto o mehanizmu nastanka apsorpcionih linija. Kada atom primi izvjesnu količinu svjetlosne energije (kvant svjetlosti određene frekvencije) on prelazi u pobuđeno stanje. Ovakvo stanje se manifestira tako što vanjski elektron tog atoma prelazi u stanje više energije u kome ostaje kraće vrijeme. Zatim se taj elektron vraća u svoje prvobitno energetsko stanje emitujući pri tome kvant svjetlosne energije. Pravac u kome se vrši zračenje kvanta svjetlosti može da bude ma koji, odnosno slučajan je. Svjetlost sa površinskih dijelova zvijezde prolazi kroz nešto hladniju atmosferu koja je okružuje i čiji atomi je upijaju u skladu sa Kirchhoff-ovim zakonom. Zbog ove pojave, na mjestu gdje bi se u spektru trebala nalaziti sjajna, emisiona linija, mi ćemo zapaziti tamnu, apsorpcionu liniju. Ako atom upije kvant veoma velike energije, onda se može desiti da vanjski elektroni budu potpuno otrgnuti od atoma. Kažemo da ti atomi



Sl. 195 Zvezdana oblast snimljena kroz objektivsku prizmu. Svi spektri na snimku su apsorpcioni sem spektra označenog sa W. To je tzv. Wolf-Rayet-ova zvijezda koja ima emisioni spektar.

prelaze u ionizirano stanje. Što je temperatura zvijezde viša, to svjetlosni kvanti - fotoni, imaju višu frekvenciju, odnosno veću energiju. Poznata Planck-ova formula koja povezuje energiju i frekvenciju glasi:

$$E=hf$$

Ovdje je E energija fotona frekvencije f , a h je Planck-ova konstanta.

Zvijezde niskih površinskih temperatura mogu u svom sastavu imati i neke hemijske spojeve kakav je npr. titanov oksid. Pošto molekuli upijaju širi dijapazon valnih dužina, to će u spektrima takvih zvijezda dominirati široke apsorpcione trake, umjesto linija. Kada je riječ o klasifikaciji zvjezdanih spektara, danas je u upotrebi tzv. **Harvardska klasifikacija**. Glavni spektralni tipovi su označeni velikim slovima latinice i to u sljedećem nizu:

- R - N

O - B - A - F - G - K - M

- S

Ovaj niz se najlakše pamti ako koristimo englesku rečenicu kod koje početna slova pojedinih riječi daju spektralni niz Harvardske klasifikacije. Ta rečenica glasi: "**O Be A Fine Girl Kiss Me Right Now Sweetheart**". Svaka od glavnih klasa ili razreda dijeli se na deset podklasa koje se označavaju pripadnim slovom i brojem. Tako imamo zvijezde tipa A0, A1, A2, ..., A9, F0, F1, ... itd. Takođe, uvedene su i neke posebne oznake ako je zvijezda div (g) ili ako je patuljak (d). Uz superdivove dodaje se oznaka (c). Npr. oznaka gM0 nam kaže da se radi o divovskoj zvijezdi tipa M0.

Sada ćemo opisati osnovne karakteristike pojedinih spektralnih klasa.

Tip O

Zvijezde ove klase imaju površinsku temperaturu do 50 000 K. U spektrima im se zapažaju apsorpcione linije višestruko ioniziranih atoma helija, silicija, dušika i kisika. Kod nekih od plavih zvijezda tipa O mogu se zapažati i emisione linije helija i vodika. Podtipovi ovih zvijezda, označeni sa Oa, Of i Oc su poznati kao Wolf-Rayet-ove zvijezde. Njihove površinske temperature dostižu i do 100 000 K.

Tip B0

Za ovu klasu glavna karakteristika predstavlja pojava intenzivnih linija ioniziranog helija, pa ih često nazivaju i helijumske zvijezde. Opažaju se i linije trostruko ioniziranog silicija i nešto izraženije linije vodika. Temperatura ovih zvijezda se kreće oko 25 000 K.

Tip A0

Površinska temperatura ovih zvijezda se kreće oko 11 000 K. Linije vodika dostižu maksimalnu jačinu. Pojavljuju se magnezij i silicij, a vidljive su linije željeza, titana i kalcija. Ovakav spektar ima zvijezda Vega.

Tip F0

Za ove zvijezde je karakteristično da su im linije dvostruko ioniziranog kalcija intenzivne, a ističe se i ionizirano željezo. Temperatura ovih žučkastih zvijezda se kreće oko 7600 K. Tipični predstavnici ove klase su Kanopus i Procion.

Tip G0

Ovo su žute zvijezde sa površinskom temperaturom oko oko 6000 K. Među njih spada i naše Sunce koje je tipa G2. Linije kalcija su intenzivne, a spektar je bogat mnogobrojnim linijama koje pripadaju metalima.

Tip K0

Kod ove klase zvijezda opažaju se široke linije kalcija. Pojavljuju se i trake titanovog oksida. Površinska temperatura im se kreće u prosjeku oko 5100 K. Ovom tipu pripada Aldebaran, alfa Bika.

Tip M0

Neutralni metali imaju intenzivne linije kod zvijezda iz ove klase. Trake titanovog oksida se sreću još češće. Temperatura ovih zvijezda je oko 3600 K, a tipičan predstavnik je Betelgez u Orionu.

Tipovi R i N

To su tzv. ugljične zvijezde čijim spektrima dominiraju trake molekularnog ugljika i nekih njegovih spojeva. Temperature im se kreću oko 3000 K. Većina ovih zvijezda su divovske zvijezde čiji se sjaj mijenja.

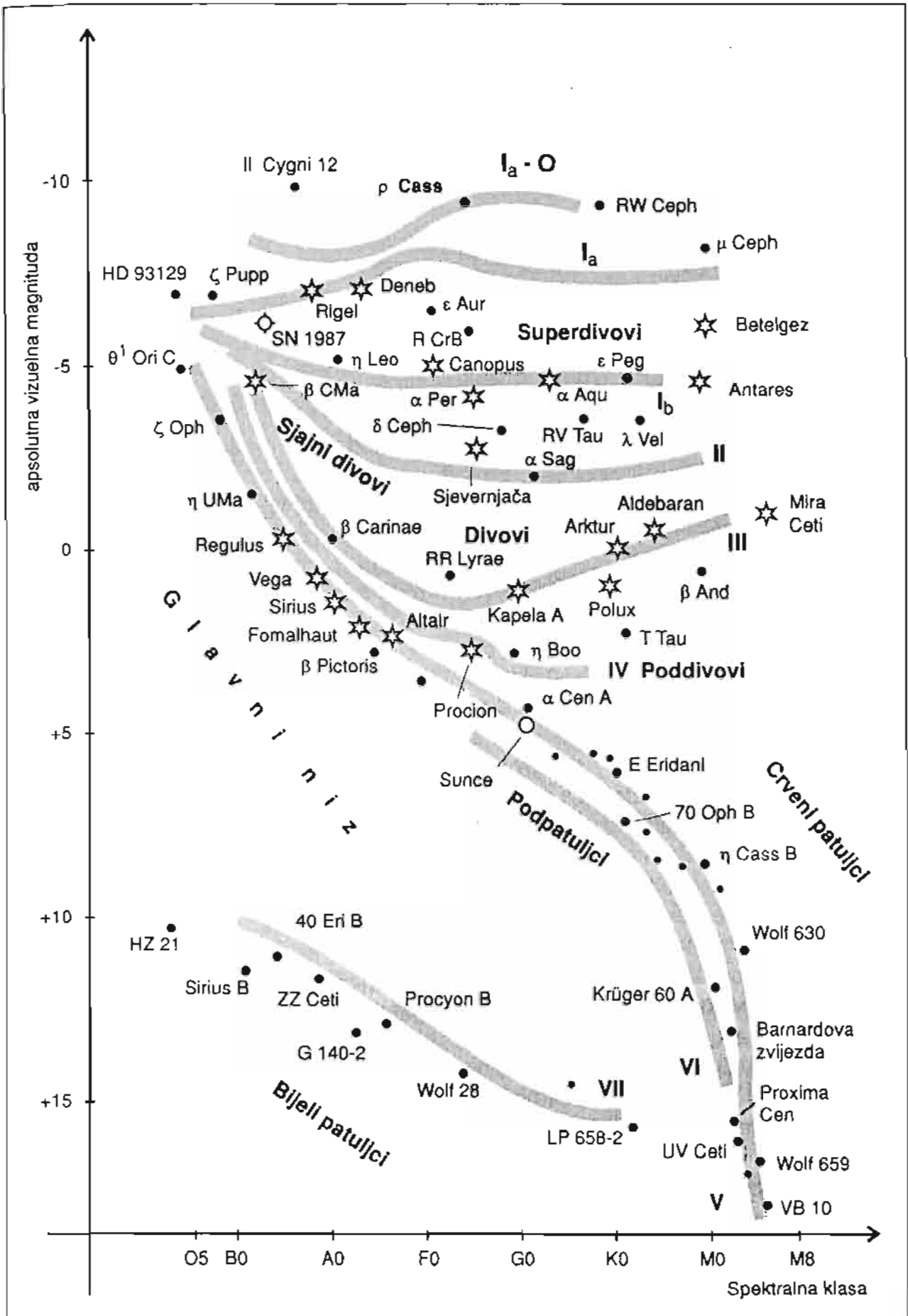
Tip S

Površinske temperature ovih zvijezda su oko 3000 K. U spektrima im se ističu trake cirkonijevog oksida koji se i mogao formirati samo na relativno niskim temperaturama. Dugoperiodična promjenljiva zvijezda R Andromedae je tipičan predstavnik ove spektralne klase zvijezda.

HERTZSPRUNG - RUSSELL-OV DIJAGRAM (H-R DIJAGRAM)

Kada smo govorili o temperaturama i spektralnim tipovima zvijezda, konstatirali smo da postoji veza između ovih dvaju karakterističnih veličina. To znači da, poznavajući npr. spektralni tip zvijezde, lako možemo odrediti približnu vrijednost temperature ili kolor indeksa. Isto vrijedi i u obratnom slučaju. Rukovodeći se sa ovim, **Henry Russell** i **Ejner Hertzsprung** su došli do interesantnih zaključaka koji su vodili rađanju čuvenog dijagrama nazvanog po njima. Dijagram, poznat skraćeno kao H-R dijagram, uspostavljen je tako što su po horizontalnoj osi koordinatnog sistema nanesene spektralne klase, a po vertikalnoj apsolutni sjaj zvijezda. Pri tome, apsolutni sjaj, dat obično u vizuelnom području spektra, raste po vertikalnoj osi, a temperature opadaju kada se krećemo po horizontalnoj osi sa lijeva u desno.

Za svaku zvijezdu, poznavajući njen spektralni tip i odredivši nekim načinom njen apsolutni sjaj, možemo na dijagramu označiti jednu tačku. U slučaju kada radimo sa velikim brojem zvijezda (što je poželjno), uočićemo da se tačke ne raspoređuju bilo kako već da se grupišu na poseban način. Kada bi između spektralnog tipa i apsolutnog sjaja zvijezda postojala neka uska veza, tada bi se gotovo sve tačke koje predstavljaju zvijezde rasporedile duž neke krive linije. Ako nema nikakve međusobne zavisnosti, onda bi raspored tačaka po čitavom području dijagrama bio manje više ravnomjeran. Pokazalo se da postoji



Sl.196 Hertzsprung - Russell-ov dijagram

zavisnost ove dvije veličine ali da je ona složena pa se tako zvijezde na dijagramu raspoređuju po određenim oblastima, a u drugima ih nema uopšte.

Već prvi pogled na dijagram (sl. 196) nam govori da se zvijezde koncentrišu duž nekoliko karakterističnih pojaseva (traka), dok ih između nema. Najduži niz, koji se neprekinut prostire dijagonalno od spektralnog tipa O do crvenih zvijezda tipa M8, prepun je zvijezda, a naziva se **glavni niz**. Većina tzv. normalnih zvijezda naše galaksije ulazi u sastav tog niza, a među njima je i Sunce. Glavni niz se završava nizom crvenih patuljaka, zvijezda malog sjaja i malih prečnika.

Ispod glavnog niza smješten je **niz podpatuljaka**. Te zvijezde zrače u prosjeku 4 do 5 puta manje energije od zvijezda glavnog niza. Još niže, prema lijevom donjem uglu dijagrama, nalazi se **niz bijelih patuljaka**. To su zvijezde niskog sjaja, a ogromne gustine. Iznad glavnog niza nalazi se **grana poddivova**, a iznad nje je **niz divova**. **Niz sjajnih divova** pruža se preko svih spektralnih tipova, a na vrhu dijagrama su **superdivovi**, zvijezde izuzetno visokog sjaja čije se boje (temperature) kreću od plavo bijele pa sve do crvene.

Ako pažljivije pogledamo H-R dijagram vidjet ćemo da, u principu, za zvijezdu jednog spektralnog tipa, npr. G, mogu da postoje različiti slučajevi. U jednom se slučaju može raditi o zvijezdi glavnog niza, a u drugom recimo o divovskoj zvijezdi. Da bi se razlikovali ovakvi slučajevi uvedene su klase luminoziteta (ukupnog toka zračenja jedne zvijezde). Prvi su ih uveli **Morgan** i **Keenan**. Njihov

sistem koji je, manje ili više i danas u upotrebi, ima skalu od sedam glavnih klasa luminoziteta:

I - Superdivovi

la - najsjajniji superdivovi i

lb - manje sjajni super-divovi

II - Sjajni divovi

III - Normalni divovi

IV - Poddivovi

V - Zvijezde glavnog niza

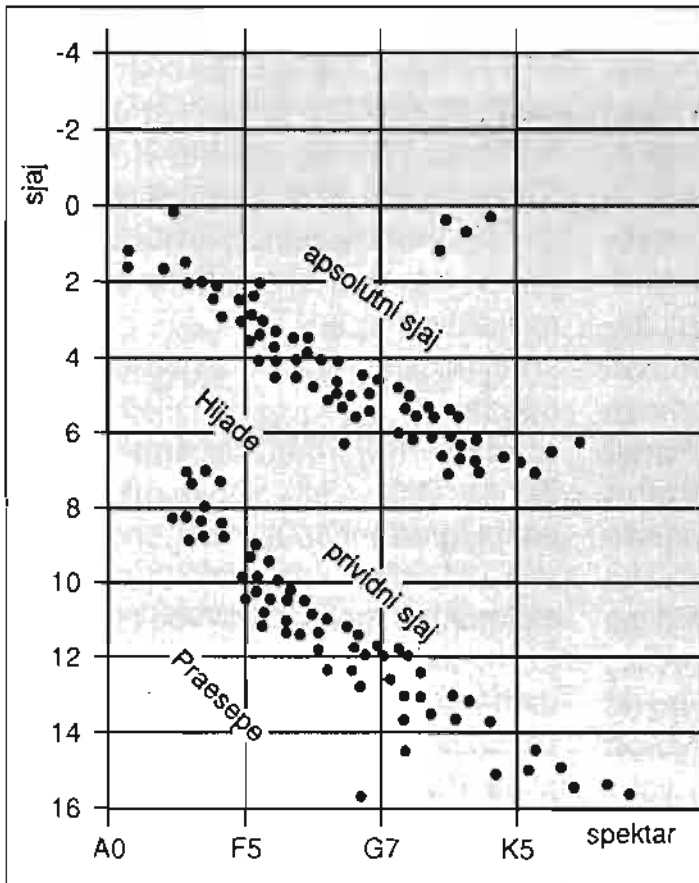
VI - Podpatuljci

VII - Bijeli patuljci

Kada dajemo spektralnu oznaku neke zvijezde, npr. Deneba u Labudu, onda ona glasi A2 la što znači da je on zvijezda spektralnog tipa A2 i da spada u sjajne superdivove. Sunce pak, ima oznaku G2 V, odnosno, tu se radi o zvijezdi spektralne klase G2 smještenoj na glavnom nizu H-R dijagrama.

Danas još uvijek nisu poznati pravi razlozi ovakvog rasporeda zvijezda. Zato se dijagram može interpretirati na razne načine. On sigurno ima i neke elemente vezane za nastanak i evoluciju zvijezda. Bitno je napomenuti da je klasični dijagram pravljen za zvijezde iz bliže okolice Sunca. Moguće je da u drugim, dalekim oblastima ili Mliječnog Puta ili u drugim galaksijama, vrijede drugačiji H-R dijagrami. Kvalitetan dijagram bi se mogao napraviti tek sa podacima za ogroman broj zvijezda. U praksi su prisutne brojne poteškoće. Tako npr. broj zvijezda superdivova je na svakom ovakvom dijagramu veći nego što je realno jer su izuzetno sjajne i vide se i na velikim udaljenostima.

Nasuprot njima, patuljaste zvijezde su slabog sjaja pa je ukupna količina podataka o njima, manja.



SI.197 H-R dijagrami rasijanih skupova Hijade u Biku i Presepe u Raku. Za Presepe su uzeti podaci o prividnom sjaju kako bi se na istom dijagramu njegove zvijezde prikazale odvojeno od zvijezda iz Hijada.

Ipak, H-R dijagram je od ogromnog značaja za astronomiju, a posebno za astrofiziku. Problemi evolucije zvijezda ne mogu se razmatrati ako ne uzimamo u obzir ovaj dijagram.

Često se H-R dijagrami prave za pojedine manje koncentracije zvijezda kakve srećemo u rasijanim ili kuglastim skupovima. Preciznost ovakvih dijagrama, posebno za rasijane skupove, je veća. Razlog je u tome što kod bližih skupova u dijagramu možemo prikazati praktično sve zvijezde koje ih sačinjavaju. Pored toga, zbog činjenice da su međusobne udaljenosti zvijezda u jednom skupu zanemarljive u odnosu na njihovu zajedničku udaljenost od Sunca, njihov prividni sjaj koji mjerimo je proporcionalan njihovom apsolutnom sjaju. To ne znači ništa drugo nego da ako je jedna zvijezda u skupu prividno sjajnija od druge, da je i u stvarnosti

sjajnija (većeg apsolutnog sjaja).

BIJELI PATULJCI

Posebno zanimljive i, u svemirskim razmjerima, važne zvjezdane objekte, predstavljaju bijeli patuljci. Daleke 1844. godine, F.W.Bessel je zaključio da Sirius i Procion moraju imati pratioce. Do ovog zaključka on je došao posmatrajući sopstvena kretanja ovih zvijezda koja su pokazivala odstupanja. Alvan Clark je, 1862. godine, testirajući objektiv svog novog teleskopa, otkrio sićušnu zvijezdu pored blistavog Siriusa. Bio je to pratilac nazvan **Sirius B**. Adams i Russell 1914. godine otkrivaju da Sirius B i jedna druga zvijezda, 40 Eridana, imaju spektre u kojima dominiraju intenzivne linije vodika. To je ukazivalo na visoke površinske tem-

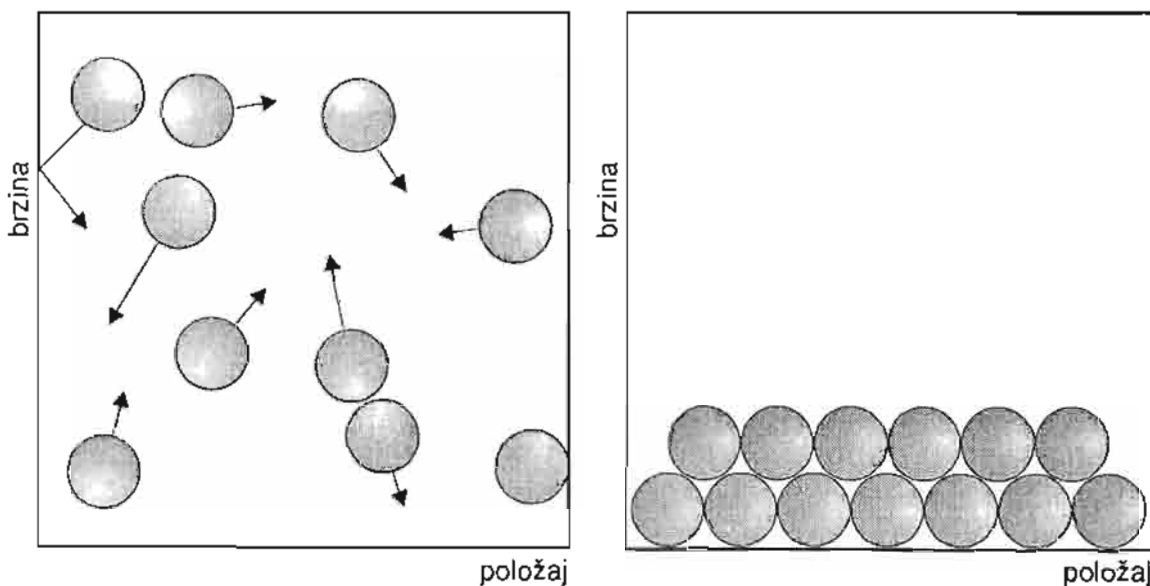
perature kakve nisu karakteristične za patuljaste zvijezde u koje oni spadaju. To je dovelo do teorijskih izučavanja i u periodu od 1930. do 1935. godine, Chandrasekhar postavlja jednadžbe koje opisuju strukturu nove vrste zvijezda koje su nazvane bijeli patuljci.

Tipičan predstavnik bijelih patuljaka ima površinsku temperaturu od oko 15 000 K i masu do 60% mase Sunca. Period rotacije mu je oko 60 minuta. Površina mu je građena uglavnom od čistog vodika, a rijede od čistog helija. Magnetska polja mogu da imaju jačinu od 10 000 pa do preko milion gaussa. Za usporedbu, magnetsko polje Zemlje ima jačinu od jednog gaussa. Zvijezda **Greenwich +70°8247** posjeduje magnetsko polje jačine oko 100 miliona gaussa. Gravitaciono polje na površini bijelih patuljaka je u prosjeku stotinu tisuća puta jače od onog na Zemlji. Radiusi ovih objekata su planetskih razmjera tj. od 3500 do 14 000 km. Mase maksimalno mogu da dostignu veličinu od oko 1,4 mase Sunca. To je poznata

Chandrasekhar-ova granica.

Pritisak u središtu bijelog patuljka je, zbog navedenih fizičkih osobina, 10^8 puta veći od pritiska u središtu Sunca. Kada bi ovakve zvijezde bile građene od idealnog plina, tada bi temperature u središtima prelazile milijardu stepeni i patuljci bi morali zračiti daleko više energije nego što opažamo. U realnosti, bijeli patuljci zrače mnogo manje energije od Sunca. Oni su, kako pokazuju istraživanja, građeni od tzv. degeneriranog plina. U ovakvom fizičkom stanju elektroni su "upakovani" veoma tijesno i to u skladu sa zakonima kvantne mehanike. Pri tome, jezgre atoma se i dalje ponašaju kao čestice idealnog plina. Kod idealnog plina su gustoća, pritisak i temperatura, međusobno zavisni. Kod degeneriranog plina pritisak zavisi samo od gustine.

Zbog opisanih osobina, bijeli patuljci manje mase imaju i manji radius. Pretpostavlja se da bi bijeli patuljci trebali na samoj površini imati jedan vrlo tanki sloj u kome se materija



Sl. 198 Lijevi crtež prikazuje molekule normalnog plina koje se sudaraju međusobno i sa zidovima posude u kojoj se nalaze. To kaotično kretanje je ono što poznajemo kao pritisak plina. Na desnom crtežu je prikazano kako su raspoređeni elektroni u degeneriranom plinu.

ponaša kao idealni plin. To bi bila neka vrsta njegove atmosfere, a debljina tog sloja ne bi bila veća od nekoliko stotina metara. Odmah ispod te površine, gustina naglo raste, ali dalje do središta, taj rast je u prosjeku svega nekoliko puta.

IZVORI ZVJEZDANE ENERGIJE

Ogromne količine energije koju zrače zvijezde svakako nas vode ka pitanjima o izvorima tih energija. Rani pokušaji da se te kolosalne energije objasne hemijskim, gravitacionim ili radioaktivnim procesima, nisu dali rezultate. Također, ni energija koja se oslobađa nuklearnim fisijom tj. cijepanjem atoma, nije dovoljna da obezbijedi milijarde godina života prosječne zvijezde. Pokazalo se da su procesi termonuklearne fuzije jedini koji mogu obezbijediti enormne količine energije koje omogućavaju zvijezdama da svojom svjetlošću razbijaju tamu univerzuma. Kada je o termonuklearnim reakcijama riječ, onda postoji više vrsta ovakvih reakcija. Kod zvijezda sa unutrašnjom temperaturom do $2 \cdot 10^7$ K, reakcija **proton-proton** je dovoljna da pokrene mehanizme termonuklearnih procesa.

Ova reakcija počinje sa dva protona čijim se sudarom stvara deutron odnosno jezgro vodikovog izotopa. pri tome se oslobađaju pozitron (e^+) i neutrino (ν).

U daljem procesu, deutron se sudara sa protonom i obrazuje jezgro lakog izotopa helija (He). Zatim dolazi do grananja procesa i mogu se desiti slijedeći slučajevi:

a) Dvije jezgre ^3_2He se sudaraju i

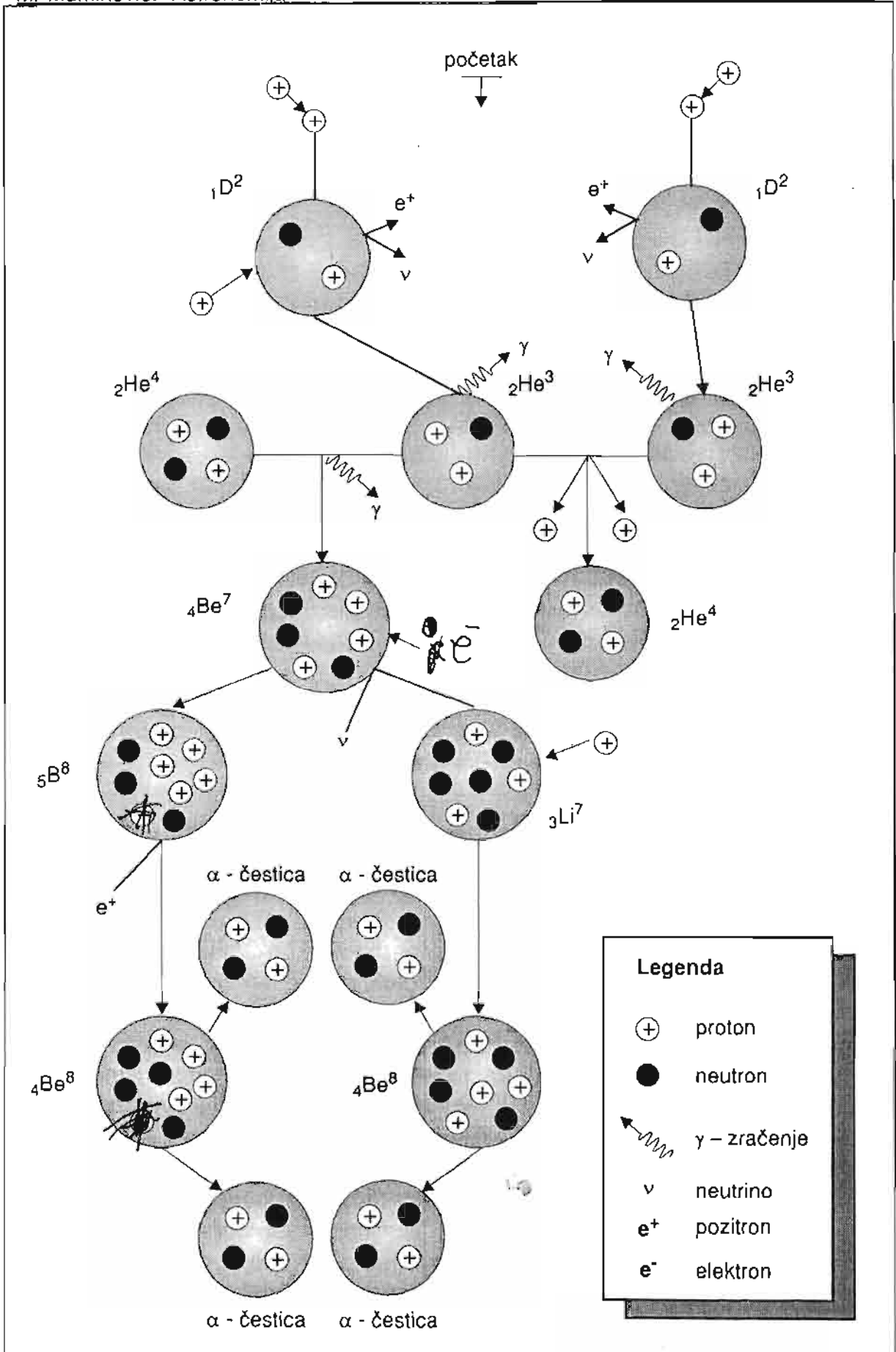
formiraju jedno jezgro ^4_2He , uz oslobađanje dva protona. Ovo je glavni krak gdje u procesima učestvuje najveći dio jezgri ^3_2He . Postoji i slijedeći korak.

b) Jezgro ^3_2He se sudara sa alfa česticom (^4_2He) i stvara se jezgro berilija (^7_4Be). Dalje, to jezgro se, zahvatajući proton, transformira u izotop bora (^8_5B). Ovo jezgro bora je podložno beta raspadu. Ispustivši pozitron koji odnosi pozitivni naboj, ono se transformira u veoma nestabilno jezgro izotopa berilija (^8_4Be). Ovaj izotop se veoma brzo raspada na dvije alfa čestice.

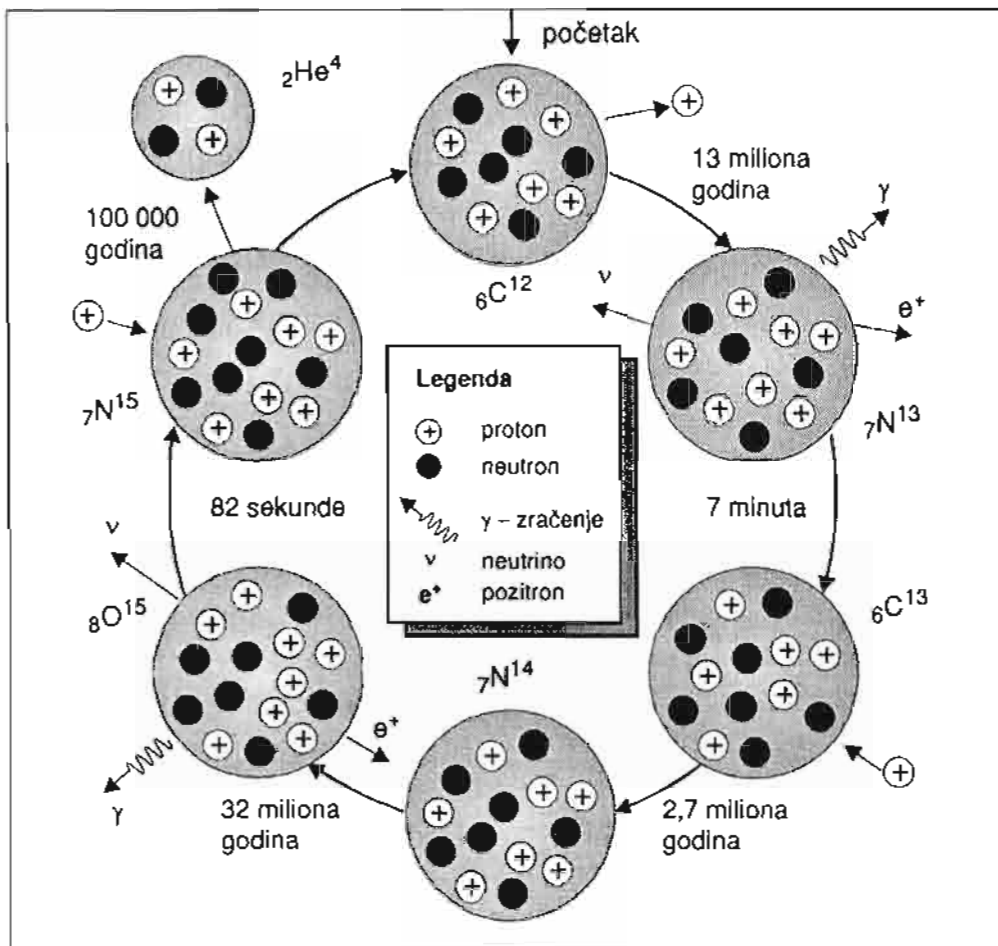
Treći krak procesa počinje tako što jezgro berilija (^7_4Be) ne zahvata proton već elektron koji od jednog protona stvara neutron i time to jezgro transformira u jezgro litija (^7_3Li). Sudarajući se sa protonom, jezgro litija daje nestabilno jezgro ^8_4Be koje, kao i u prethodnom kraku reakcije, daje dvije alfa čestice.

U konačnom rezultatu iz sva tri kraka ovog procesa, četiri protona formiraju jednu alfa česticu. Pri tome se izdvaja energija od oko 26 MeV. Najveći dio nje je u vidu gama kvanta, a dio je kinetička energija međudjelujućih čestica. Ovakav prošireni proton-proton proces dovoljan je da objasni najveći dio energije koju Sunce i njemu slične zvijezde oslobađaju. Kada se radi o zvijezdama viših unutrašnjih temperatura, tada u igru ulazi novi termonuklearni proces tzv. **ugljično-dušični ciklus** ili ugljično-dušično-kisikov ciklus. I kod zvijezda sunčevog tipa, ovakav proces ima ulogu u ukupnim reakcijama termonuklearne fuzije.

Ugljično-dušični ciklus počinje sa jezgrom ugljika $^{12}_6\text{C}$ koje ima ulogu katalizatora. Tokom termonuklearnih



SI.199 Shema termonuklearne reakcije proton-proton



SI.200 Shematski prikaz ugljično-dušičnog ciklusa. Data su vremena trajanja pojedinih faza procesa.

procesa, ono se sudara sa protonima i, zahvativši ih, prelazi u teža jezgra kakva su izotop dušika ${}^7\text{N}^{13}$, normalni dušik ${}^7\text{N}^{14}$, te izotop dušika ${}^7\text{N}^{15}$. Ovo posljednje jezgro se, poslije sudara sa protonom transformira u jezgro ugljika ${}^6\text{C}^{12}$, sa kojim smo i počeli, i u alfa česticu ${}^2\text{He}^4$. Kao i u proton-proton reakciji, oslobađa se gama zračenje, ali sa nešto manje ukupne energije.

Naravno, kada su u pitanju problemi izvora zvjezdane energije sve još uvijek nije rečeno. U nekim egoztičnim zvjezdanim objektima vjerovatno se zbivaju i drugi tipovi nuklearnih reakcija o kojima za sada u astrofizici nema izgrađenih teorija. To je pitanje za buduće istraživače koji će koristiti mnogo bolje uređaje.

DVOJNE ZVIJEZDE

Vizuelne dvojne zvijezde

Činjenica da se neke zvijezde, gledane golim okom ili malim teleskopom, ne razlikuju prividno od drugih, a da se u većem instrumentu vide kao dvojne ili višestruke, bila je poznata još u 17 stoljeću. Prvo otkriće jedne dvojne zvijezde, za koje se zna, izvršio je italijanski astronom **Jean Baptiste Riccioli** 1650. godine. On je "rastavio", teleskopom, zvijezdu ζ Ursae Majoris (Velikog Medvjeda), inače, poznatu pod nazivom Mizar. **Hygens**, 1656. godine otkriva da se θ Oriona sastoji od tri zvijezde (danas ih je tu još više), a 1664. godine **Hocke** je zapisao da se zvijezda γ Ovna sastoji od 2 zvijezde.

Radovima **Christiana Mayer-a** i **sir Wiliama Herschel-a** počinje period istraživanja dvojnih zvijezda. Herschel 1782. godine objavljuje prvi katalog dvojnih zvijezda. Najvažnije otkriće koje je napravio na ovom polju je da se komponente pojedinih dvojnih zvijezda kreću, odnosno mijenjaju svoje relativne položaje jedna prema drugoj. Pažljivo uzimajući u obzir greške posmatranja, Herschel je zaključio da se opažena pomjeranja mogu objasniti samo orbitalnim kretanjima članova dvojnih sistema. Ovo otkriće je otvorilo u tadašnjoj astronomiji posve nove perspektive i omogućilo da se upotreba Newton-ovog zakona gravitacije proširi daleko van granica našeg Sunčevog sistema.

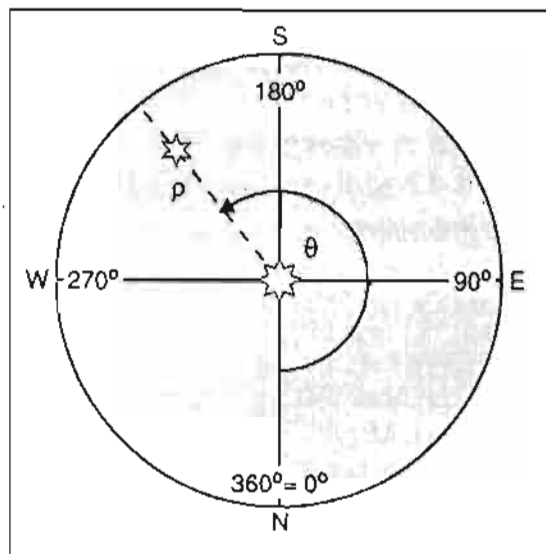
U 19 stoljeću, najpoznatiji promatrač dvojnih zvijezda bio je **Wilhelm Struve**. Kao direktor Dorpatske opservatorije u Rusiji, on je publikovao katalog u kome su dati osnovni elementi 795 dvojnih zvijezda. Krajem prošlog stoljeća u oblasti izučavanja dvojnih sistema se posebno istakao svojim radovima američki astronom **S.W. Burnham**.

Među vizuelne dvojne zvijezde ne treba ubrajati tzv. optičke dvojne

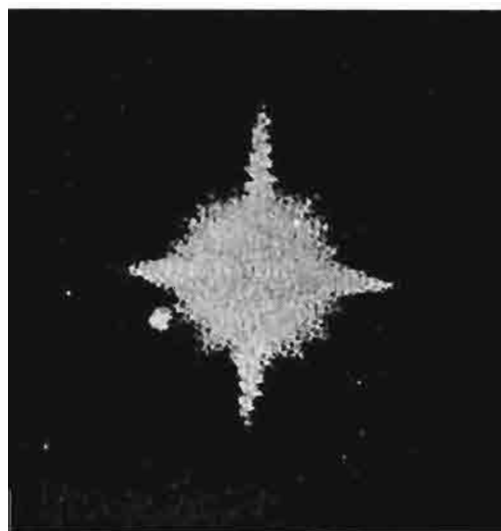
zvijezde. One se, gledane teleskopom, ne razlikuju u izgledu od pravih, fizički vezanih dvojnih zvijezda. Međutim, njihova bliskost na nebu je samo prividna, jer se, u stvarnosti, nalaze na najrazličitijim rastojanjima jedna od druge, a samo zbog svog slučajnog položaja na nebu, one nam izgledaju kao par.

Mjerenja i posmatranja dvojnih zvijezda su relativno jednostavna uz uslov da posjedujemo stabilan teleskop i precizne mjerne uređaje. U principu, mjerenje neke vizuelne dvojne zvijezde se svodi na mjerenje međusobnog rastojanja komponenti (uglovno rastojanje) i pozicionog ugla.

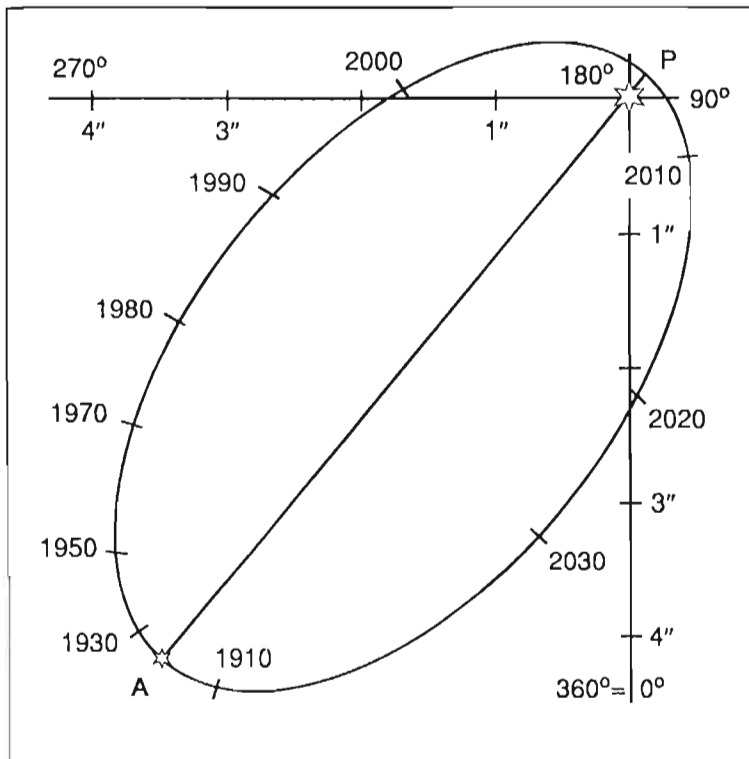
Obično se sjajnija komponenta smatra primarnom zvijezdom, a ona slabijeg sjaja sekundarnom. **Pozicioni ugao** je ugao između pravca od primarne zvijezde ka sjevernom nebeskom polu i pravca koji spaja primarnu i sekundarnu komponentu dvojnog sistema. Na slici 201. prikazano je vidno polje nekog teleskopa u kome se nalazi posmatrana dvojna zvijezda. U svakom vidnom polju možemo ustanoviti četiri karakteristične tačke koje odgovaraju sjeveru, istoku, jugu i zapadu. Sjevernoj tački



Sl.201 Pozicioni ugao i uglovno rastojanje kod dvojne zvijezde



Sl.202 Dvojni sistem zvijezde Sirius i njegovog pratioca Siriusa B



SI.203 Elipsa prikazuje kretanje pratioca dvojnog sistema zvijezde γ Virginis u periodu od 1910 do 2030. godine.

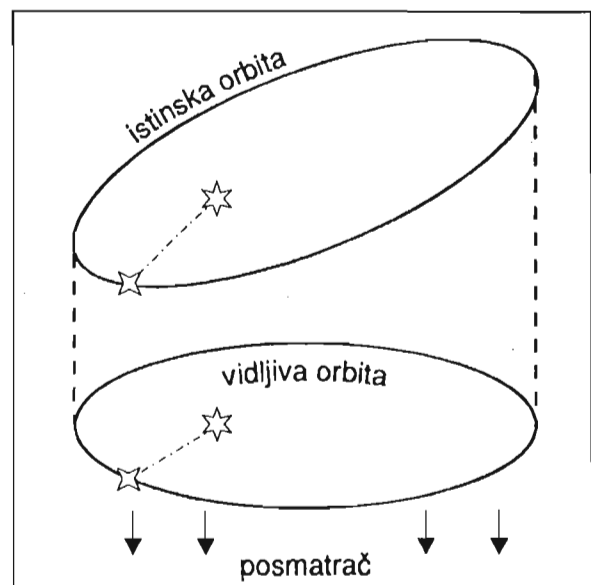
N odgovara pozicioni ugao od 0° , istočnoj tački E odgovara ugao od 90° , južnoj tački S odgovara ugao od 180° i zapadnoj tački W odgovara pozicioni ugao od 270° .

Na slici 201. θ predstavlja **pozicioni ugao**, a ρ **uglovno rastojanje**. Obje ove veličine se mjere mikrometrom, uređajem sa dvije ili više međusobno paralenih i normalnih tankih niti, postavljenih u fokusu okulara. Posebnim mikrometarskim zavrtnjima moguće je neke od niti pomjerati i na odgovarajućim uglovnim podjelama, direktno očitavati mjerene vrijednosti. Teleskopima sa velikim fokusnim rastojanjima moguće je neke razdvojene sisteme izučavati i fotografski.

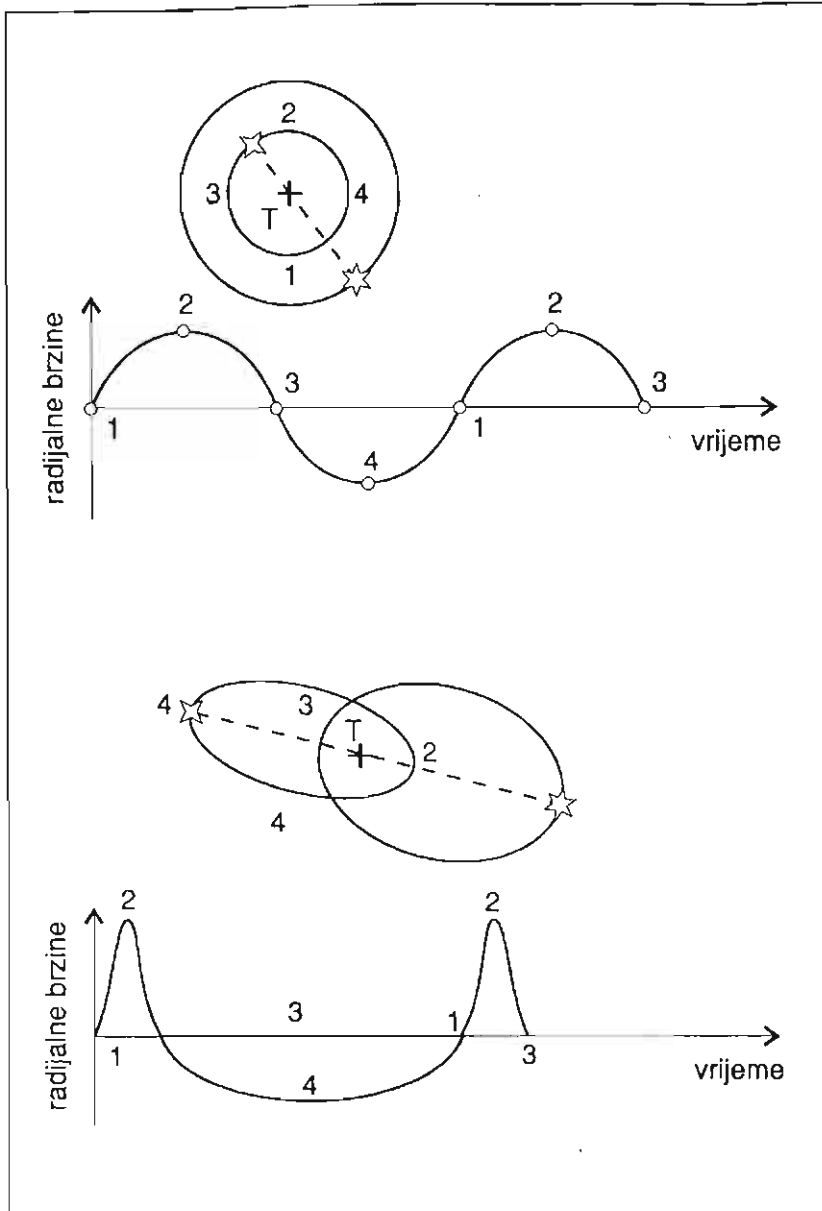
Već smo pomenuli da kod većeg broja vizuelnih dvojnih zvijezda opažamo, mjerenjima u dužim vremenskim razmacima, orbitalna kretanja. Najjednostavniji je slučaj kada se radi o jednoj zvijezdi velike mase oko koje kruži saputnik male mase. Orbita saputnika tada ima oblik elipse u čijoj

je žiži smještena glavna zvijezda. Na slici 203 prikazan je sistem zvijezde γ Virginis.

U opštem slučaju, orbita je projekcija istinske orbite sistema, jer, samo u nekim specijalnim slučajevima smo u prilici da gledamo normalno na ravan kretanja komponenti dvojnog sistema. U svim ostalim slučajevima, orbitu posmatramo pod nekim uglom. Na slici



SI.204 Istinska i vidljiva orbita kod jednog tipičnog dvojnog sistema.



SI.205 Krive radijalnih brzina spektroskopskih dvojnih zvijezda u dva karakteristična slučaja: kružne orbite (a) i u slučaju eliptične orbite (b).

204 dat je prikaz istinske orbite i njene projekcije na nebesku sferu (vidljive orbite) i to u slučaju masivne primarne zvijezde i saputnika.

Periodi obilaska saputnika oko glavnih zvijezda ili periodi obilaska komponenti dvojnih sistema oko zajedničkih težišta su obično veoma veliki. U većini slučajeva mjerimo ih tisućama godina. Ukoliko se radi o sistemu od tri ili više zvijezda, onda su orbite tako složene da se mogu rješavati samo aproksimativno.

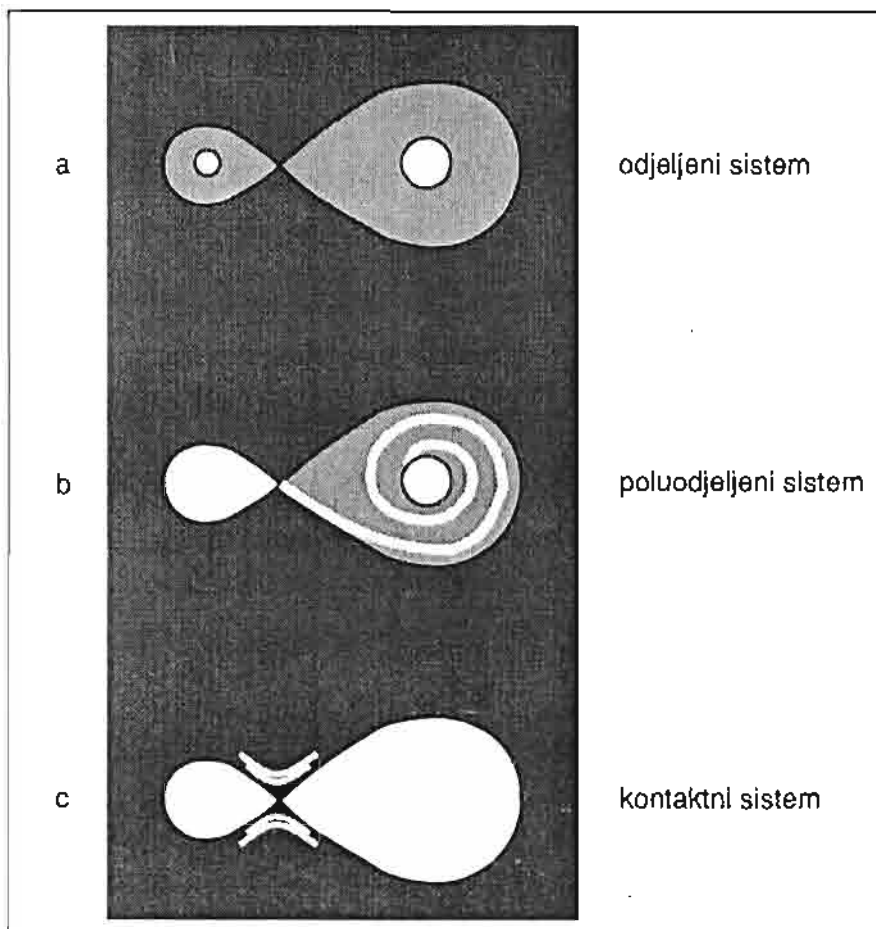
Mnoge vizuelne dvojne zvijezde imaju komponente koje su različitih boja. U većini slučajeva se radi o fiziološkim efektima koje proizvodi ljudsko oko tokom posmatranja. U nekim primjerima radi se o zaista različitim spektralnim tipovima komponenti koje grade neki dvojni sistem. Među najpoznatije vizuelne dvojne zvijezde ubrajamo Albireo, β Labuda. Jedna od njegovih zvijezda je zlatno-žučkaste boje, a druga zelenkasto-plave boje.

Spektroskopske dvojne zvijezde

Ako se dvije zvijezde nalaze na malom rastojanju jedna od druge, onda se one ne mogu vidjeti razdvojene ni najvećim teleskopima. Spektri ovakvih zvijezda pokazuju povremeno razdvajanje i spajanje spektralnih linija. Apsorbicije linije su izvjesno vrijeme iste kao kod drugih, usamljenih zvijezda. Nakon izvjesnog vremena, one počinju da se cijepaju na po dvije komponente koje se postepeno udaljavaju jedna od druge. Nakon nekog maksimalnog razdvajanja, linije ponovo počinju da se približavaju jedna drugoj da bi se na kraju spojile u jednostruke linije. To znači da se, pri kretanju oko zajedničkog težišta, zvijezde nađu na istom pravcu u

odnosu na posmatrača. Tada su linije jednostruke. Kada se zvijezde nađu na suprotnim tačkama od svog težišta, tj. kada su maksimalno razdvojene, tada su linije u spektru dvostruke. Mi tada posmatramo dva spektra, projektovana jedan na drugi.

Postoje metode pomoću kojih možemo na osnovu spektroskopskih mjerenja da približno odredimo mase i elemente orbita ovakvih zvijezda. Na osnovu dobijenih spektrograma možemo konstruisati krivu radijalnih brzina i to tako što na horizontalnu osu nanesimo jedinice vremena, a na vertikalnu radijalne brzine. Radijalne brzine su brzine kojima se neki objekat približava ili udaljava od posmatrača. Masa zvijezde i radius orbite ne mogu se tačno odrediti jer se, kod ovakvih



SI.206 Osnovni oblici bliskih dvojnih sistema

razmatranja, oni javljaju zajedno sa sinusom ugla i . Ugao i je ugao nagiba orbite ka posmatraču. Njega nije moguće odrediti, ali ga možemo procjenjivati znajući minimalnu i maksimalnu vrijednost sinusa. Iz snimljenih spektara mogu se odrediti $A \sin i$ i $M \sin^3 i$. Ako pretpostavimo da je $i = 90^\circ$, onda je $\sin 90^\circ = 1$. U ovom slučaju dobijemo najmanje moguće vrijednosti za A i M . U našem razmatranju A je velika poluosa orbite, a M zajednička masa komponenti. Slika 205 nam prikazuje dva karakteristična oblika krivih radialnih brzina.

Bliske dvojne zvijezde

Posebna grupa dvojnih zvijezda, koje su izuzetno interesantne za astrofizičare, su tzv. bliske ili tijesne dvojne zvijezde. Zbog međusobne blizine, ovakve zvijezde nemaju oblik kugli već su na razne načine deformirane. Na površini usamljene zvijezde gravitaciono polje je konstantno, tj. njegova ekvipotencijalna površina je sferična. Kada se radi o dvije zvijezde, tada gravitacioni potencijal jedne dolazi u dodir sa gravitacionim potencijalom druge zvijezde. Ekvipotencijalna površina više ne može biti sferična. Ovim područjem se, u okviru izučavanja problema dva tijela, posebno bavio E. Roche. Prva ekvipotencijalna površina se po njemu naziva **Roche-ova granica** ili Roche-ova kritična površina. Ako su obje komponente nekog tijesnog dvojnog sistema po svojim dimenzijama ispod Rocheove granice, tada se govori o sistemu sa odjeljenim komponentama (Sl.206a).

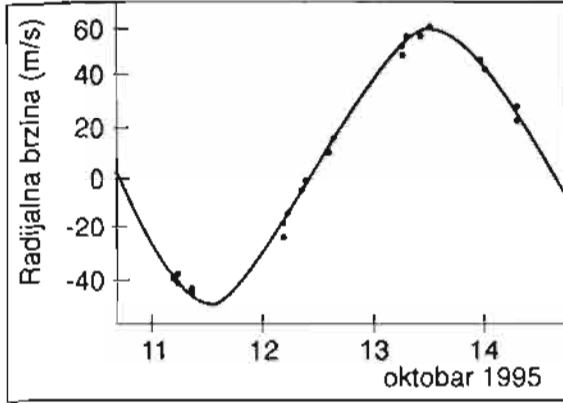
Ukoliko neka od zvijezda, usljed unutrašnjih uzroka, počne da se širi i ispunji volumen svog dijela Roche-ove površine, tada se pojavljuje poluod-

jeljeni oblik (Sl.206b). Kroz čvornu tačku dva dijela Roche-ove površine, tzv. **Lagrange-ova tačka L_1** , materija šireće zvijezde prelazi u drugi volumen i pada ka manjoj zvijezdi. Plinoviti zvjezdani materijal pada ka drugoj zvijezdi, spiralno se krećući jer se zvijezde brzo vrte oko zajedničkog težišta. Kada obje zvijezde ispune svoje Roche-ove volumene, tada poprimaju kapljičast izgled i međusobno izmjenjuju masu. Tada govorimo o kontaktnom sistemu (Sl.206c). Pri ovom transferu mase, dio plinovitog materijala napušta Roche-ove volumene kroz vanjske Lagrangeove tačke i omotava sistem oblakom materijala. Ova razmjena materije može da ima različite efekte po zvijezde i njihovu evoluciju. Eksplozije nekih tipova novih i supernovih zvijezda, te nastanak izvjesnog broja egzotičnih objekata, objašnjavaju se procesima u ovakvim sistemima.

Planetski sistemi drugih zvijezda

Ideja o postojanju vansolarnih planetskih sistema nije nova. Međutim, zbog ogromnih udaljenosti na kojima se nalaze zvijezde, teleskopski nije moguće direktno opažati takve planete. Zakon gravitacije omogućava da se precizna posmatranja sopstvenih kretanja pojedinih zvijezda iskoriste u ovu svrhu. Periodične promjene položaja pojedinih bližih zvijezda mogu se objasniti postojanjem jednog ili više nevidljivih saputnika. Period posmatranih otklona od predviđenih položaja, bio bi jednak periodu obilaska nevidljivog saputnika oko zvijezde. Na osnovu Kepler-ovih zakona moguće je odrediti rastojanje nevidljivog saputnika

i njegovu masu. Tako su na listu zvijezda za koje se sumnja da imaju nevidljive pratiocice (možda planete) dospjeli 61 Labuda i Barnardova zvijezda.



SI.207 Kriva radijalnih brzina zvijezde 51 Pegasi dobijena za četiri noći posmatranja pomoću reflektora sa prečnikom od 3 m Lick opservatorije na Mount Hamiltonu u USA

U ovim slučajevima radi se o indikacijama za postojanje masivnih planeta. Otkrića oblaka tamne materije oko nekih zvijezda (Vega, β Pictoris itd.) dali su novi impuls onima koji smatraju da je broj planetarnih sistema u svemiru veliki. Hubble-ov svemirski teleskop je otkrio veliki broj proto-planetarnih diskova u središnjim oblastima Velike magline u Orionu. To su mali oblaci prašine i plina koji okružuju novonastale zvijezde koje ne bi trebale biti starije od milion godina. Od 110 posmatranih zvijezda u Velikoj maglini, njih 56 ima oblak tamnog materijala oko sebe. Ovakvi oblaci su osnova za stvaranje planetarnih sistema.

Posljednjih godina, pobošanje tehnika spektroskopskih mjerenja radijalnih brzina dovelo je do otkrića izvjesnog broja planeta koje kruže oko drugih zvijezda. Planete poput Jupitera ili one masivnije od njega mogu izazvati promjene u spektrima koje se mjere sa svega nekoliko metara u sekundi.

Tako oko zvijezde 51 Pegasi kruži planet sa masom koja je veća ili jednaka od polovine mase Jupitera. Planet udaljen od svoje zvijezde oko 7 miliona kilometara.

Slična masivna tijela otkrivena su i oko zvijezda HD 114 762, 47 U. Majoris, 70 Virginis, 16 Cygni B i Ro Cancry.

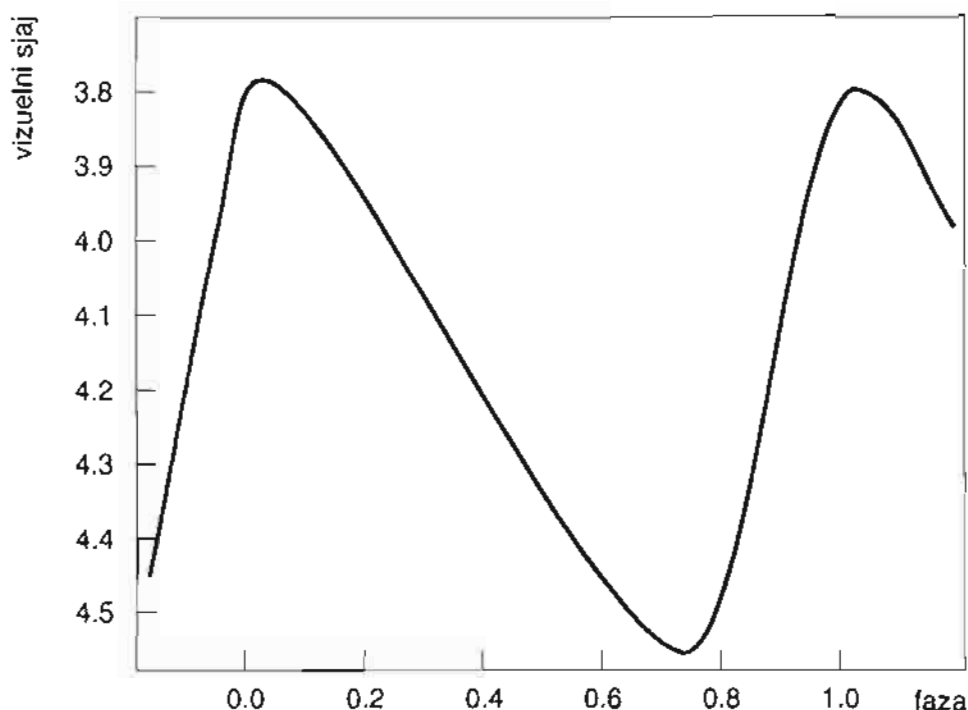
PROMJENLJIVE ZVIJEZDE

Površno posmatranje svijeta zvijezda ostavlja utisak da ova daleka sunca imaju konstantan sjaj. Pažljivija ispitivanja vode zaključku da dobar dio zvijezda pokazuje različite promjene sjaja. Kod nekih zvijezda te promjene se dešavaju periodično, dok su kod drugih potpuno nepravilne. Sve ovakve zvijezde nazivaju se promjenljive.

U atlasima i katalozima, promjenljive zvijezde označavaju se velikim slovima latinice, počevši od slova R. Tako se nižu R, S, T, U, itd. Kada se iscrpe sva slova za promjenljive jednog sazviježđa, onda se vrši njihovo dubliranje pa imamo oznake RR, RS, SS, i slično. Ovih kombinacija slova ima ukupno 334. Kada se one iscrpe, prelazi se na oznaku slovom V uz broj veći od 334. Tako, npr. V 348, označava promjenljivu zvijezdu broj 348 u sazviježđu čije se ime napiše uz gornju oznaku. Postoji veći broj vrsta promjenljivih zvijezda. Ovdje ćemo se upoznati sa osnovnim tipovima.

Cefeide

Predstavnik ove grupe zvijezda, po kome su i sve ostale dobile ime, je δ Cefeja. Nju je otkrio još 1784. godine **John Goodricke**. Sjaj zvijezde se mijenja u rasponu od 3,78 i 4,63 magnituda. Čitav ovaj period promjene



SI.208 Grafik promjene sjaja zvijezde δ Cefeja

sjaja, između dva uzastopna maksimuma, odnosno minimuma sjaja, traje 5,366 dana. Na slici 208 prikazana je kriva promjene sjaja zvijezde δ Cefeja.

Tokom svakog ciklusa promjene sjaja, spektar ovih zvijezda doživljava promjene. U slučaju pomenute δ Cefeja, spektar se mijenja od F5 do G2. To znači da se toj zvijezdi mijenja i površinska temperatura, jer spektralni tip direktno zavisi od ove veličine.

Prema periodima promjene sjaja, cefeide se dijele na tri osnovne grupe. Najkraće periode imaju zvijezde tipa **RR Lyrae** i oni su obično manji od jednog dana. Ova grupa je poznata i kao promjenljive zvijezde iz skupova, jer je veliki broj ovakvih zvijezda pronađen u sastavu kuglastih skupova.

Drugi tip cefeida su tzv. **klasične cefeide**. Njihov se sjaj mijenja u periodu između 5 i 28 dana. Najzad, treću grupu sačinjavaju zvijezde poznate pod nazivom **dugoperiodične cefeide**. Periodi promjene sjaja kod ovih zvijezda traju duže od 28 dana.

Zavisnost

period-apsolutni sjaj

Henrieta Leavitt, astronom sa Harvardske opservatorije, je dugi niz godina proučavala cefeide iz Malog Magellan-ovog oblaka. Ovaj pratilac naše galaksije nalazi se na udaljenosti od oko 160 000 svjetlosnih godina. Sve zvijezde koje su u njegovom sastavu, možemo smatrati jednako udaljenim od nas. Njihova međusobna rastojanja se mogu zanemariti u odnosu na njihovu udaljenost od Sunca. H. Leavitt je opazila da postoji veza između perioda promjene sjaja jedne cefeide i apsolutnog sjaja iste zvijezde. Kao rezultat ovakvog razmišljanja, pojavio se dijagram kod koga je na x-osu nanesen logaritam perioda promjene sjaja, a na y-osu apsolutni sjaj. Ovaj dijagram je odigrao ključnu ulogu u određivanju udaljenosti zvijezda i koristi se i danas.

Kao što smo vidjeli, trigonometrijska metoda omogućila je određivanje razdaljina samo manjeg broja relativno

bliskih zvijezda. Pomoću dijagrama, određiviši period promjene očitati približnu vrijednost njenog apsolutnog sjaja. Prema ranije izvedenoj formuli: $m - M = 5 \log r - 5$, mjereći prividni sjaj m , nalazimo udaljenost zvijezde r .

Da bi se mogao koristiti dijagram, potrebno je pronaći nekoliko cefeida čije su udaljenosti, a time i apsolutni sjaj, određeni nekom drugom pouzdanom metodom. Na žalost, u blizini Sunca nema ni jedne cefeide kod koje bi smo trigonometrijski našli udaljenost. Zbog toga su se koristile druge metode, a među njima, mjerenja radijalnih i spostvenih kretanja ovih zvijezda. Tako je **Harlow Shapley**, koristeći statističke metode, na osnovu cefeida u kuglastim skupovima, došao do određenih rezultata. Kasnije su potrebna mjerenja izvođena i iz raznih drugih posmatranja.

Grafik na slici 209 moguće je predstaviti i numerički i to preko formule koja povezuje npr. apsolutnu fotografsku veličinu neke cefeide sa

logaritmom njenog perioda promjene sjaja. Ta formula glasi:

$$M_{ph} = -0,35 - 2,08 \log P$$

Slično, ako je u pitanju vizuelna apsolutna veličina, imamo relaciju:

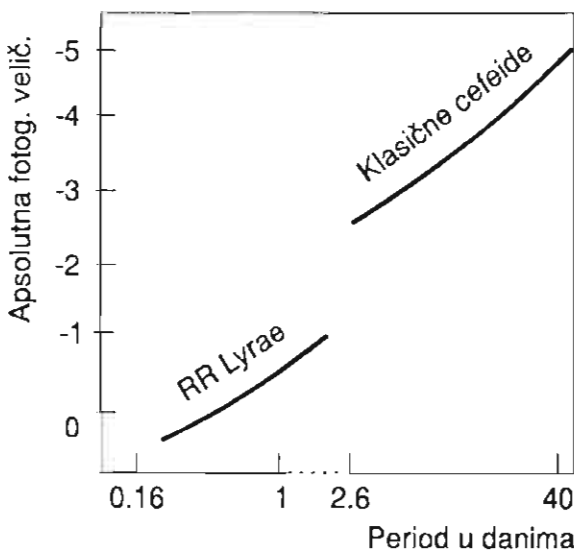
$$M_v = -1,18^m - 2,90 \log P$$

Znajući period P , možemo, na osnovu jednačina odrediti apsolutni sjaj i time udaljenost određene cefeide. Za cefeide tipa **W Djevice** vrijedi slična zavisnost, samo što je, u prosjeku kod ovih ovih zvijezda pri istom periodu promjene sjaja kao kod klasičnih cefeida, apsolutni sjaj manji za oko 0,5 magnituda.

Kasnija istraživanja su pokazala da je prvobitna procjena udaljenosti galaktičkih cefeida bila pogrešna. To se prvenstveno odnosilo na klasične cefeide kod kojih je greška u procjeni apsolutnog sjaja iznosila oko 1,5 veličina. Zbog toga se skala rastojanja u svemiru morala povećati. Ona se i danas poboljšava usavršavanjem mjernih uređaja, a posebno sa korištenjem svemirskih teleskopa.

Promjene sjaja cefeida objašnjavaju se njihovim pulsiranjem. Spektroskopska posmatranja su pokazala da pri promjeni sjaja dolazi i do promjene radijalnih brzina. Prema Doppler-ovom efektu, ustanovljeno je da maksimumu sjaja odgovara najveće pomjeranje spektralnih linija ka ljubičastom kraju, odnosno da se tada spoljni dijelovi zvijezde šire najvećom brzinom. U momentima bliskim minimumu sjaja, posmatramo suprotan efekat, tj. linije se pomjeraju ka crvenom kraju spektra, odnosno, dešava se skupljanje zvijezde.

Prvu matematički zasnovanu teoriju pulsiranja zvijezda dao je **Arthur**



Sl.209 Dijagram logaritma perioda-apsolutni sjaj za klasične cefeide i promjenljive zvijezde tipa RR Lyrae.

Eddington. Zvijezda se, pod normalnim okolnostima, nalazi u ravnotežnom stanju. U njenoj unutrašnjosti djeluju dvije sile. Jedna je privlačna, gravitaciona sila koja sve čestice zvijezde privlači ka centru. Njoj je suprotna sila pritiska plina i zračenja. Ako se ova ravnoteža naruši, zvijezda će početi da se naizmjenično širi i skuplja. Ovakva kolebanja vode periodičnim promjenama temperature i dimenzija svjetleće površine, odnosno fotosfere zvijezda. Mi tu pojavu onda primjećujemo u vidu promjena u spektralnom tipu zvijezda, promjena sjaja i radijalnih brzina.

Kasnija teorijska razmatranja i posmatrački podaci nisu išli u prilog ovako jednostavnom modelu. Slobodne oscilacije zvijezde morale bi biti dosta brzo prigušene. Prigušivanje pulsacija bi opet vodilo naglom porastu perioda kolebanja, što se ne opaža. Takođe, iz teorije bi proizlazilo da trenutku maksimalnog skupljanja zvijezde odgovara maksimalna temperatura površine. Nasuprot tome, posmatrački podaci govore da je sjaj cefeide najveći kada se zvijezda širi najvećom brzinom, tj. u momentu kada slojevi koji se šire imaju najveću brzinu u smjeru posmatrača. Takođe, ustanovljeno je da minimalni volumen zvijezda ima na sredini uzlaznog kraka krive sjaja, odnosno, kada temperatura fotosfere ima neku srednju vrijednost, a ne maksimum.

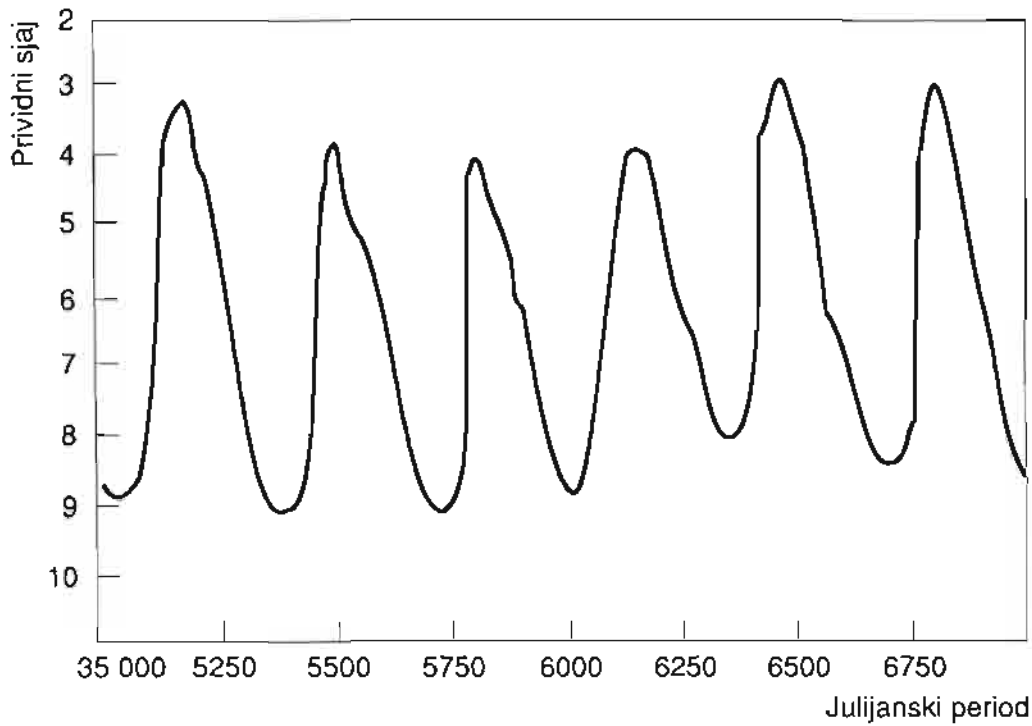
Noviji teorijski pristupi uzimaju u obzir neke fizičke osobine oblaka materije koji okružuje zvijezdu. Tako se razmatra sposobnost sloja helija da u takvim uslovima akumulira energiju. Povećanje, odnosno sniženje temperature helijumske zone, direktno

utiče na njenu prozračnost ili neprozračnost. Time se mogu objasniti neke od pojava koje se ne uklapaju u pojednostavljeni model pulsacija.

Dugoperiodične promjenljive zvijezde

Period promjene sjaja kod ove velike grupe promjenljivih zvijezda kreće se od 50 do 700 dana. Najpoznatija zvijezda ovog tipa je **o Ceti ili Mira**. Sve dugoperiodične promjenljive su crveni divovi niskih površinskih temperatura. Obično su to spektralni tipovi M, N i S. Temperature njihovih fotosfera se kreću između 2000 i 3000 K. Široke trake titanovog oksida dominiraju njihovim spektrima, a u blizini maksimuma sjaja, pojavljuju se i emisione linije vodika. Kod zvijezda spektralnog tipa N dominiraju trake ugljikovih spojeva, a kod zvijezda S klase uočavamo trake cirkonijevog oksida. Grafik 210 prikazuje nam krivu promjene sjaja zvijezde Mire u sazviježđu Kit. Promjene sjaja ne odvijaju se tako pravilno kao kod cefeida. Veličina minimuma, odnosno maksimuma, može da varira. Tako se maksimalni sjaj Mire Ceti kreće u granicama od 5 do 2 magnitude. Samo jednom, 1779. godine, ona je bila sjajna poput zvijezde prve veličine.

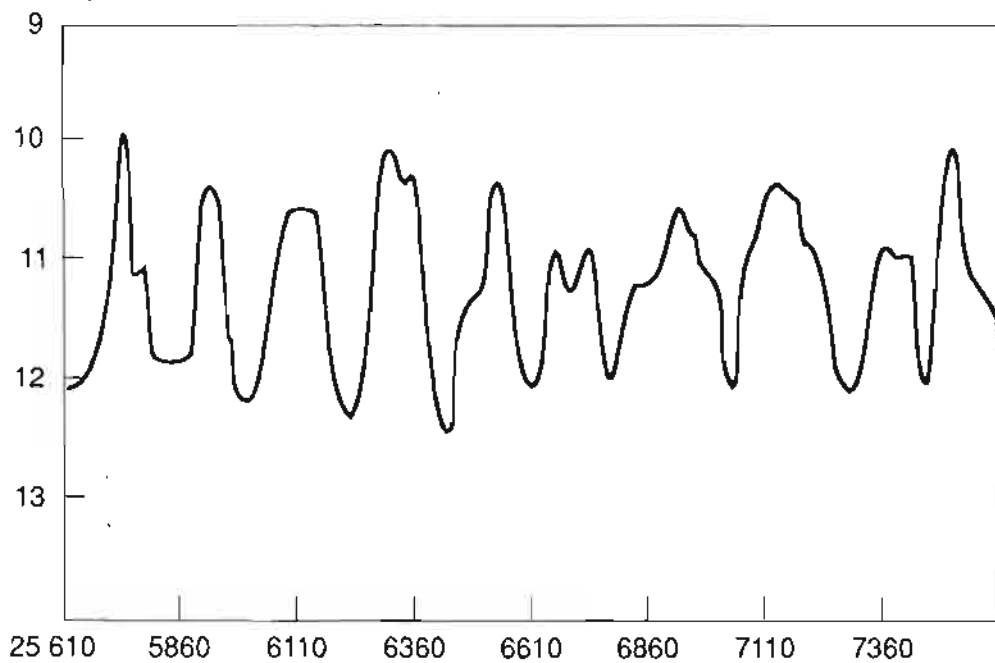
Uporedo sa promjenama sjaja, kod ovih zvijezda se mijenjaju temperature i prečnici. Te promjene nisu tako velike kao što su promjene sjaja jer u maksimumu neke od ovih zvijezda budu i do 100 000 puta sjajnije nego kada su u minimumu sjaja. Spektroskopska istraživanja govore da ove zvijezde pulsiraju. Promjene sjaja divovskih i superdivovskih zvijezda se objašnjavaju udarnim valovima u



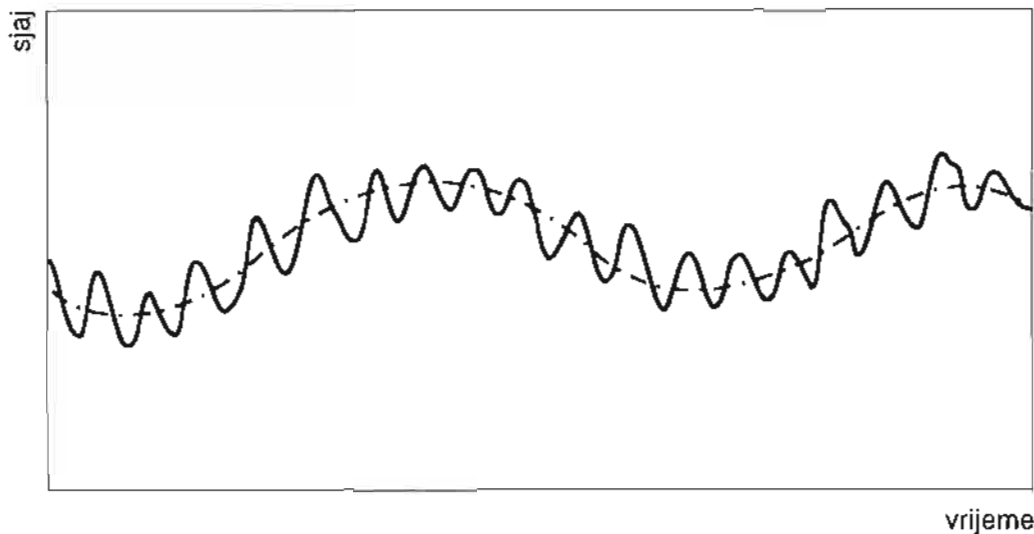
SI.210 Kriva sjaja dugoperiodične promjenljive zvijezde Mire (o Ceti)

njihovim fotosferama. Ti udarni valovi proizvode dovoljno energije koja se manifestira kroz različite promjene sjaja koje registramo.

Brzine fotosferskih udarnih valova mogu, u slučajevima nekih promjenljivih zvijezda biti veće od brzine zvuka.



SI.211 Kriva sjaja zvijezde U Bootis



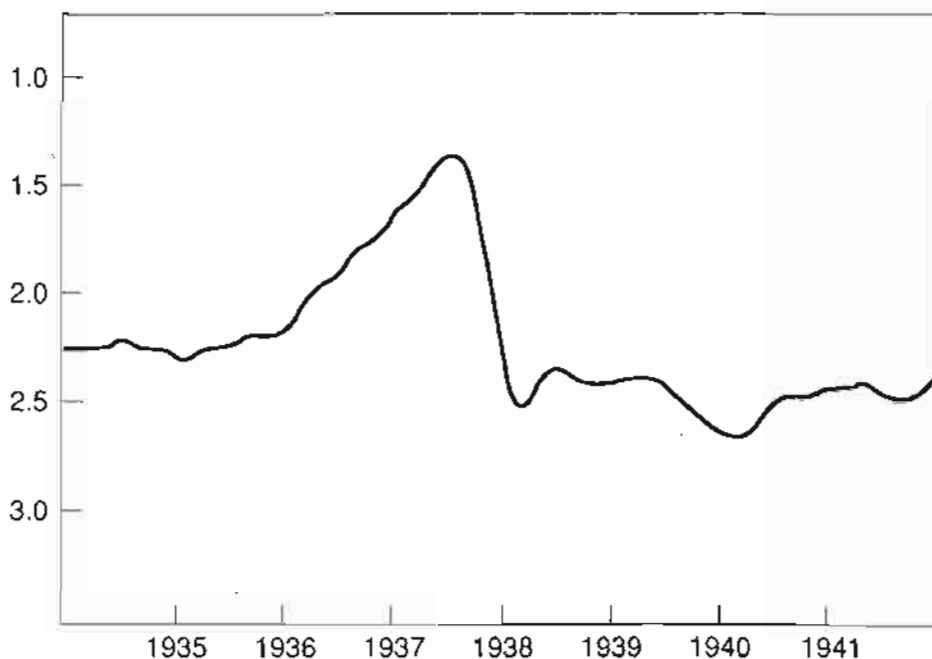
SI.212 Kriva sjaja tipične polupravilne promjenljive zvijezde. Uočava se prisustvo sekundarnog perioda koji u ovom slučaju ima oblik sinusoide.

Polupravilne promjenljive zvijezde

Konstatirali smo da se promjene sjaja kod dugoperiodičnih promjenljivih ne odvijaju u potpuno pravilnim periodima. Ovakva odstupanja su još izraženija kod polupravilnih promjenljivih zvijezda. Amplitude promjene sjaja su znatno manje kod ovih zvijezda kada ih poredimo sa onima kakve imaju zvijezde tipa Mira Ceti.

Obično su te promjene u rasponu od dvije prividne veličine. Na slici 211 prikazana je kriva sjaja polupravilne promjenljive zvijezde **U Bootis**.

Često se kod ovakvih promjenljivih zvijezda, pored glavnog (primarnog) perioda promjene sjaja, javlja i manje izraženi sekundarni period. Naime, određeni niz od npr. tri ili četiri perioda promjene sjaja, čini dio jedne promjene sjaja višeg reda. Na slici 212 vidi se kako to izgleda.



SI.213 Kriva sjaja zvijezde γ Cassiopeiae

Ovakve zvijezde nije baš jednostavno klasificirati. Tako se u jednu podgrupu svrstavaju divovske i superdivovske zvijezde spektralnih tipova M, N i S. Općenito gledajući, krive sjaja polupravnih promjenljivih su slične krivama sjaja dugoperiodičnih zvijezda. Tipični predstavnici ove grupe su **S Aquilae** i **R Ursae Minoris**.

U drugu grupu polupravnih promjenljivih ulaze zvijezde kao što su **Betelgez** u Orionu i α Herkula. Njihova karakteristika su male amplitude sjaja i pojava sekundarnog perioda promjene sjaja. Jedna od važnih podgrupa polupravnih promjenljivih su i zvijezde tipa **RW Tauri**.

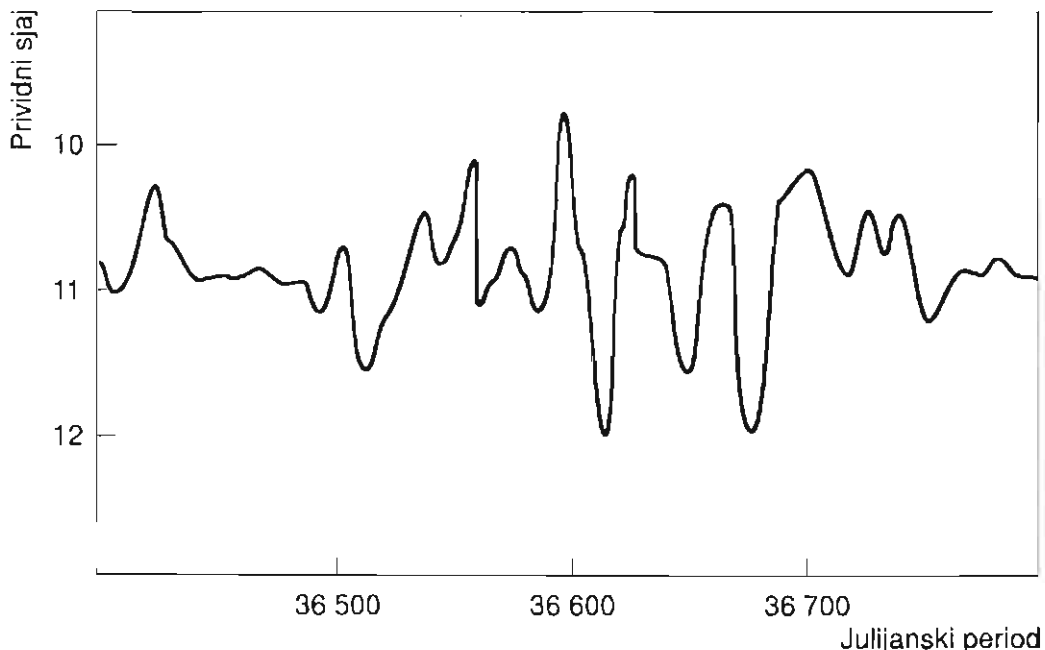
Nepravilne promjenljive zvijezde

Ove zvijezde ne pokazuju nikakve pravilnosti tokom promjena sjaja. Amplitude promjene sjaja su im male. Tipičan primjer takve zvijezde je u sazviježđu Kasiopeje. Njena kriva promjene sjaja (sl.213) ne pokazuje nikakvu pravilnost. Mnoge sjajne

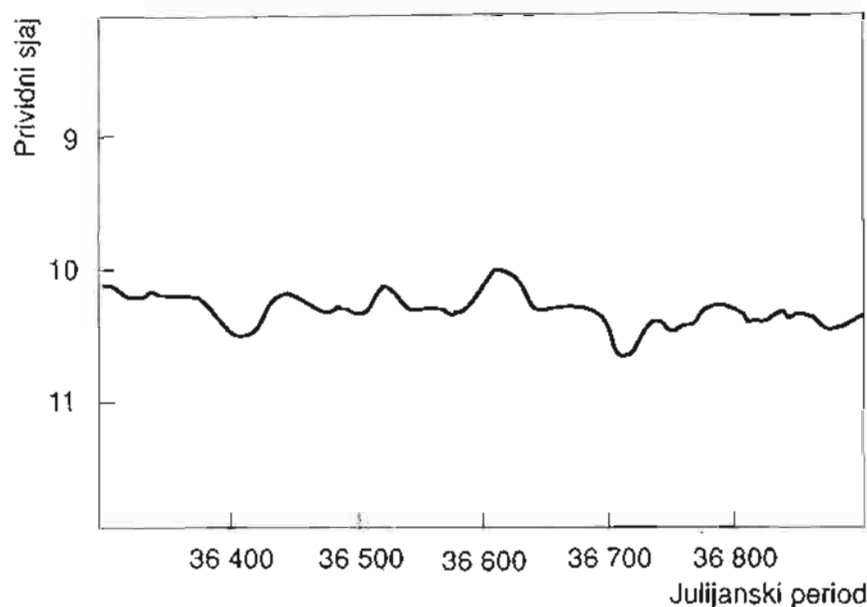
zvijezde spadaju u ovu grupu tako da su im spektri dobro izučeni. One rotiraju veoma brzo, tako da dolazi do izbacivanja materije na veliku udaljenost. Ta materija obrazuje neku vrstu oblaka u vidu školjke oko zvijezde.

Nebularne promjenljive

Pri nekoj površnoj analizi, vjerovatno bi smo ovakve zvijezde svrstali u grupu nepravilnih promjenljivih. Međutim uzroci promjene sjaja nepravilnih zvijezda leže uglavnom u njihovim unutrašnjostima. Kod nebularnih promjenljivih, razlozi zbog kojih mijenjaju sjaj nalaze se najvećim dijelom u njihovoj okolini. Dosta ovakvih zvijezda pronađeno je unutar oblaka materije poznatog kao Velika maglina u Orionu. Na osnovu spektra, nebularne promjenljive su svrstane u više podgrupa. Tako **RW Aurigae** mijenjaju sja u intervalu od dvije do tri magnitude. Većinom su ovo patuljaste zvijezde tipa G. Kriva sjaja zvijezde po kojoj su dobile ime prikazana je na slici 214.



Sl.214 Kriva sjaja zvijezde *RW Aurigae*

SI.215 *Kriva sjaja zvijezde T Tauri*

Zvijezde iz grupe **T Orionis** su slične prethodno opisanim suncima tipa **RW Aurigae**. Međutim, ovo su objekti visokih površinskih temperatura koje se kreću od 10 000 do 25 000 K. To su mlade zvijezde povezane sa galaktičkim maglinama.

Posebna podgrupa zvijezda tipa **RW Aurigae** su **T Tauri**. Karakterišu ih male amplitude sjaja. To su uglavnom zvijezde kasnijih spektralnih tipova i to, uglavnom, crveni patuljci. Okružuju ih najčešće tamne magline. Pretpostavlja se da su to vrlo mlade zvijezde. U svojim atmosferama imaju dosta litija, u nekim slučajevima i 100 puta više nego što ga ima naše Sunce. Tamne apsorpcijske linije su široke i to govori da te zvijezde brzo rotiraju. I u maksimumu sjaja one su relativno slabi objekti pa ih je teže izučavati.

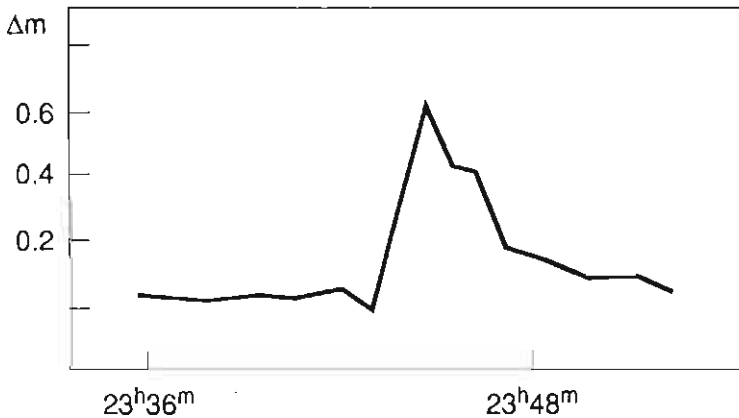
Promjenljive zvijezde tipa **R Coronae Borealis**

Ovo je mala i neobična grupa promjenljivih. Glavni predstavnik, **R Sjeverne Krune (Coronae Borealis)**,

duže vrijeme ima maksimalni sjaj od 5,8 prividnih veličina. Ovakvo stanje se iznenada prekida sa dubokim minimumima kod kojih sjaj pada i do 14-e magnituda. Uglavnom su ovo objekti rijetkog spektralnog tipa **R**. Takve zvijezde imaju dosta ugljika i njegovih spojeva, a abnormalno malo vodika. Površinske temperature im se kreću oko 7000 K. Ugljik bi mogao biti uzrokom njihovih anomalnih promjena sjaja. Proces bi mogao teći tako što bi, usljed nekih unutrašnjih uzroka, dolazilo do povremenog izbacivanja većih količina plinovitog materijala, uglavnom ugljika. Udaljavanjem, ovaj se materijal naglo hladi i kristalizira. Čestice ugljika koje se formiraju intenzivno upijaju svjetlost i zato se sjaj zvijezde naglo smanjuje. Kada se oblak postepeno rasprši u okolni svemir, sjaj zvijezde ponovo raste.

Patuljaste nove zvijezde

Prva u nizu ovih zanimljivih zvijezda otkrivena je 1855. godine. To je bila **U Geminorum**. Za ove zvijezde su



Sl.216 Kriva sjaja UV Ceti dobijena 1965. god.

karakteristične iznenadne promjene sjaja u intervalu od dvije do šest prividnih veličina. Fotoelektrični i spektroskopski radovi pokazuju da su patuljaste nove većinom članovi dvojnih sistema. U tim sistemima, plinovita materija struji od hladnije zvijezde slične Suncu, prema pratioču koji je bijeli patuljak.

Eruptivne promjenljive tipa UV Ceti

Zvijezde ovog tipa povremeno naglo pojačavaju sjaj u vidu pravih erupcija koje traju veoma kratko. Većinom su to crveni patuljci slabog sjaja. Njihovi iznenadni bljeskovi podsjećaju na slične pojave na Suncu. No Sunčevi bljeskovi nisu ni blizu tako snažni da bi doprinijeli primjetnom povećanju njegovog sjaja.

Prva ovakva zvijezda opažena je 1947. godine, kada je Carpenter načinio seriju snimaka patuljaste zvijezde L-756-8, poznate danas kao **UV Ceti**. U intervalu od svega dva minuta ovoj zvijezdi je sjaj porastao za oko dvije magnitude, a zatim se vratio na normalu.

Pokazalo se da se slične provale sjaja dešavaju i kod drugih zvijezda ovog tipa. Jedno posmatranje UV Ceti

iz 1952. godine pokazalo je da joj je sjaj u periodu od 5 minuta porastao sa 12,9 na 5,8 magnituda. Slika 216 prikazuje jednu od erupcija sjaja zvijezde UV Ceti od 23.09.1965.

Spektri ovih zvijezda, kada im sjaj miruje, su tipa M sa izrazitim emisi-onim linijama vodika. Značajno je i prisustvo ioniziranog kalcija. Još uvijek nisu razjašnjeni mehanizmi koji uzrokuju naglo povećanje sjaja ovih zvijezda. Uočeno je da su mnoge od njih članovi dvojnih sistema, pa bi se tu mogao i tražiti odgovor na ovo pitanje.

Wolf-Rayet-ove zvijezde

Spektroskopska ispitivanja ovih zvijezda svrstala su ih u grupu O. Međutim, kod njih se, pored takvog spektra, opažaju i široke, sjajne trake. Većina ih pripada višestruko ioniziranim atomima helija, silicija i ugljika. Vodikove linije su slabije. Danas je poznato nekoliko stotina ovakvih zvijezda.

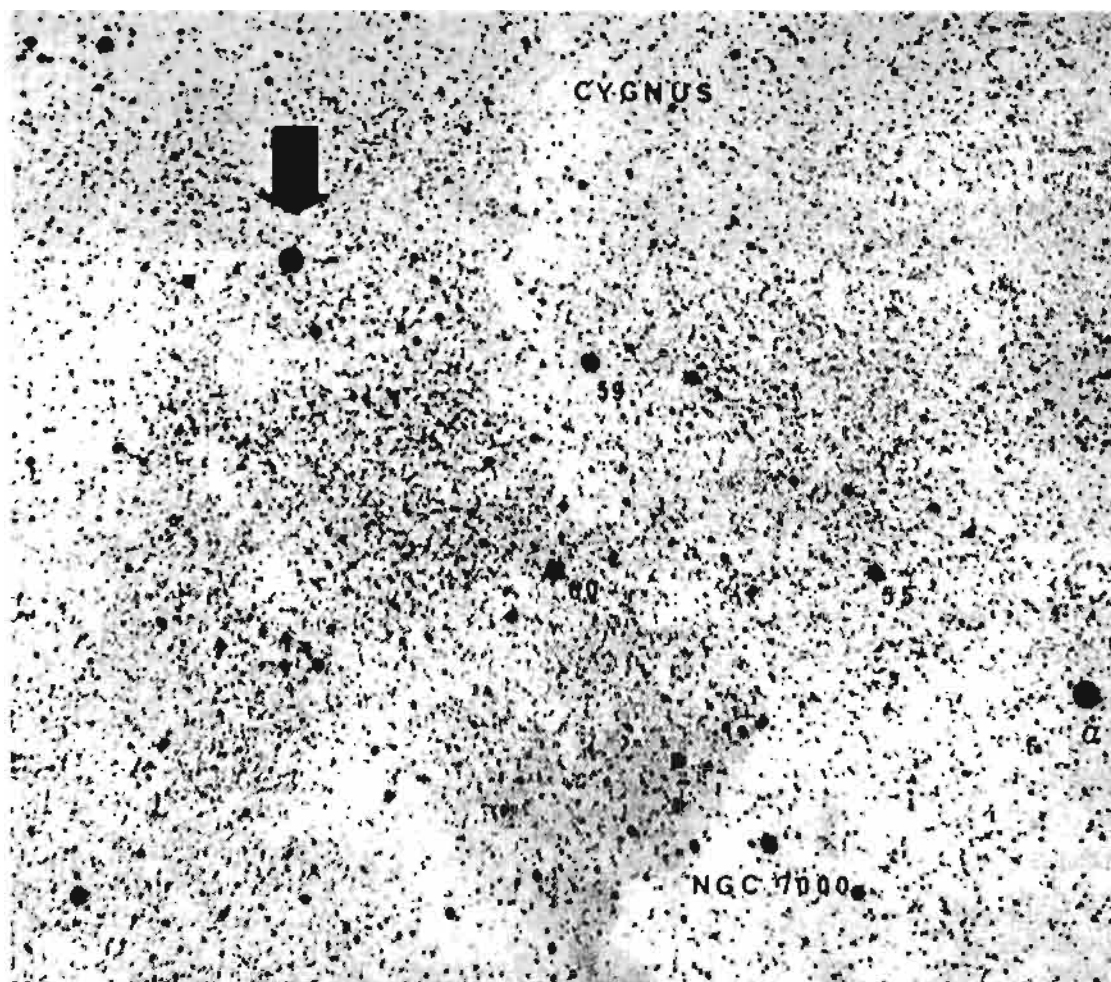
Wolf-Rayet-ove zvijezde su objekti visokog sjaja i apsolutna veličina im se kreće od -4^m do -8^m . Površinska temperatura im je samim tim visoka i ide od 60 000 - 100 000 K. Radiusi ovih zvijezda su dva puta veći od radiusa

Sunca, a mase mogu da budu i do dvadeset puta veće od mase naše centralne zvijezde. Zbog ovako visoke temperature, pod pritiskom svjetlosti, dolazi do izbacivanja atoma sa površine zvijezde u okolni prostor. Tako se oko zvijezde formira ogromna atmosfera i u spektrima se pojavljuju široke linije. Ovakve linije nastaju zbog radialnih kretanja atoma od površine zvijezde, pa, prema tome, svaki od njih ima kretanje koje je pod određenim uglom u odnosu na posmatrača. Zato mjerene projekcije brzina atoma mogu imati različite vrijednosti, a njihovom veličinom je uslovljeno pomjeranje linija shodno Doppler-ovom efektu. Zbog toga umjesto tankih linija opažamo emisione trake.

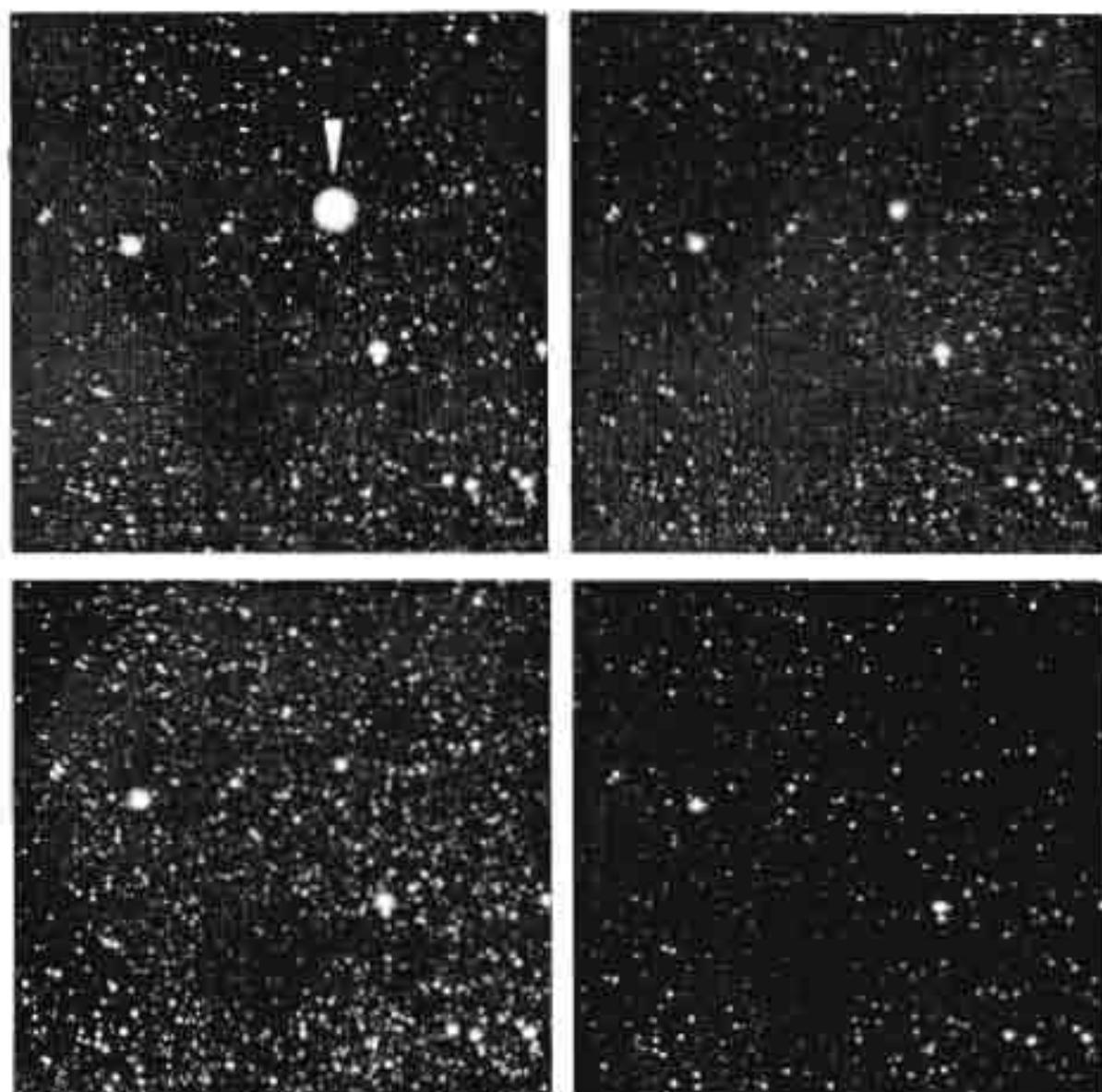
Nove zvijezde

Povremeno, u većim vremenskim razmacima, na nebu je moguće opaziti pojavu neke sjajne zvijezde koje na tom mjestu ranije nije bilo. Zato su takve zvijezde prozване novim. Danas znamo da su tu ne radi o rađanju potpuno nove zvijezde. Ispitivanja ranije načinjenih snimaka pokazuju da se u svim takvim slučajevima na istom mjestu nalazila neka daleka zvijezda slabog sjaja. Primjena fotografije i CCD tehnike omogućava otkrivanje novih zvijezda čak i u onim situacijama kada se porast sjaja ostvari u, za oko nevidljivom, intervalu zvjezdanih veličina.

Kada se izučavaju nove, onda se prije svega snimaju njihovi spektri i



Sl.217 Nova Cygni 1975. Snimak Astronomske opservatorije u Sarajevu. Snimio Muhamed Muminović pomoću dvostrukog astrografa 83/375 mm.



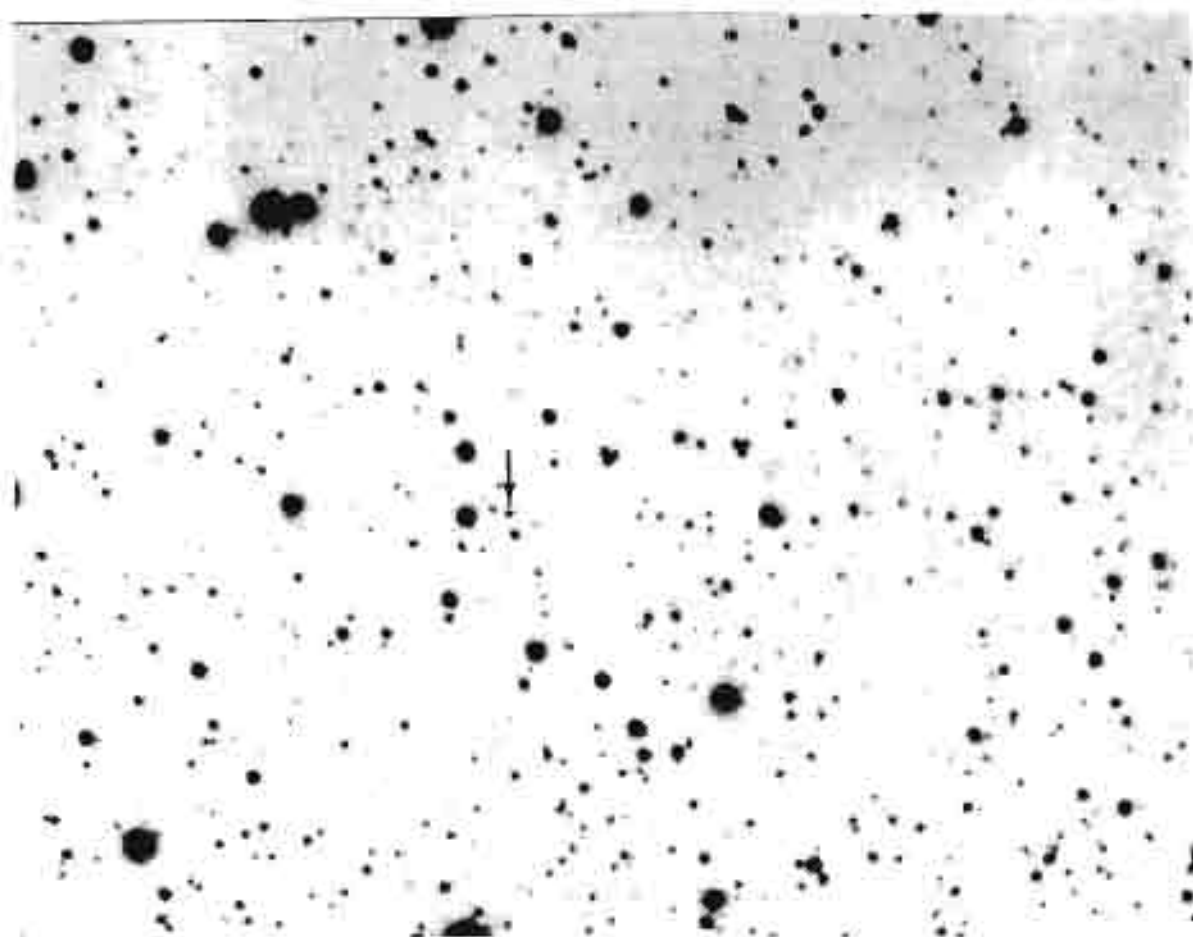
Sl. 218 Neke od faza promjene sjaja Nove Cygni u toku augusta i septembra 1975. Snimak Astronomске opservatorije u Sarajevu. Snimio Muhamed Muminović.

mjeri sjaj. Kasnije se, na osnovu grafika na kome je na x-osi nanoseno vrijeme, a na y-osi prividni sjaj, mogu izvući važni i korisni podaci. U prosjeku, amplituda promjene sjaja novih zvijezda iznosi oko 11 prividnih veličina. To znači da se sa neke početne vrijednosti sjaj u maksimumu poveća za oko 25 000 puta.

U periodu do maksimuma sjaja, spektar novih liči na obične spektre zvijezda tipova A i F. U tom spektru se osobito ističu tamne apsorpcione linije vodika. Sa porastom sjaja nove,

ove linije se pomjeraju prema plavom kraju spektra. To znači da se vanjski dijelovi zvijezde šire i to sa brzinama od više stotina kilometara u sekundi.

Neposredno poslije maksimuma, u spektru se pojavljuju svijetle emisione linije na mjestima gdje su ranije bile tamne. Pojava emisionih linija i traka ukazuje na to da se oko zvijezde obrazuje plinoviti omotač sličan onome koji okružuje planetarne magline. Ovakve plinovite školjke snimljene su kod nekih sjajnijih novih. Nakon više godina spektar nove postaje sličan



SI.219 Nova Monocerotis 1975. Snimak Astronomske opservatorije u Sarajevu. Snimio Muhamed Muminović dvostrukim astrografom.

spektrima pominjanih Wolf-Rayet-ovih zvijezda. Nova se nakon svih ovih burnih procesa najčešće vraća na svoj prvobitni sjaj.

Postoje slučajevi da zvijezda koja je jednom bila nova, ponovo pređe u to stanje nakon dužeg vremena. Tako je otkrivena posebna grupa zvijezda koje su nazvane "povratne nove". Takva je, recimo, zvijezda **T Sjeverne Krune**. Postoje i "novama slične zvijezde" kod kojih takođe dolazi do naglog porasta sjaja, ali taj proces nije tako snažno izražen kao kod novih.

Pitanje uzroka zbog kojih nove odbacuju vanjske slojeve svoje materije još nije u potpunosti riješeno. Jedan od razloga leži u tome što se uglavnom ne raspolaže sa spektrima ovih zvijezda prije nego što je došlo do

eksplozije. Po pravilu, ovo su daleke zvijezde, slabog sjaja i nema ih u spektralnim katalozima koji sadrže uglavnom sjajnije zvijezde.

Danas se zna da su nove u većini slučajeva članovi tijesnih dvojnih sistema poluodjeljenog tipa. Zbog toga se, sa razlogom, pretpostavlja da bi mehanizam eksplozije mogao da teče na slijedeći način. Sa veće zvijezde koja ispunjava svoju Roche-ovu površinu, struji materija ka kompaktnom pratiocu. Najčešće se tu radi o bijelom patuljku. Materija se taloži na njegovoj površini i zagrijava. Nakon što temperatura pređe 10 miliona stepeni, počinju termonuklearni procesi. Termonuklearna fuzija se odvija eksplozivno i dolazi do odbacivanja dijela materije. Proces se može ponoviti

jednom ili više puta tokom života ovakvog sistema.

U posljednjim decenijama, najviše pažnje je izazvala eksplozija nove u sazviježđu Labuda. Krajem augusta 1975. godine ona se pojavila u blizini zvijezde Deneb, sjajna kao objekat druge prividne veličine. Oblast oko nove zvijezde je godinu dana ranije snimljena na foto pločama "Sarajevskog atlasa neba". Upoređivanje snimaka pokazalo je da se na mjestu eksplozije nije nalazila ni jedna zvijezda sjajnija od 16 magnituda. Američki astronomi, pregledom Palomarskog atlasa neba nisu opazili ni jedan objekat sjajniji od 21 prividne veličine. To znači da je nova od prvobitnog stanja do maksimalnog sjaja prešla ogroman raspon od najmanje 19 prividnih veličina.

Godina 1975. ostaće poznata po još jednoj novoj koja je najprije opažena rentgenskim satelitom "Ariel V".

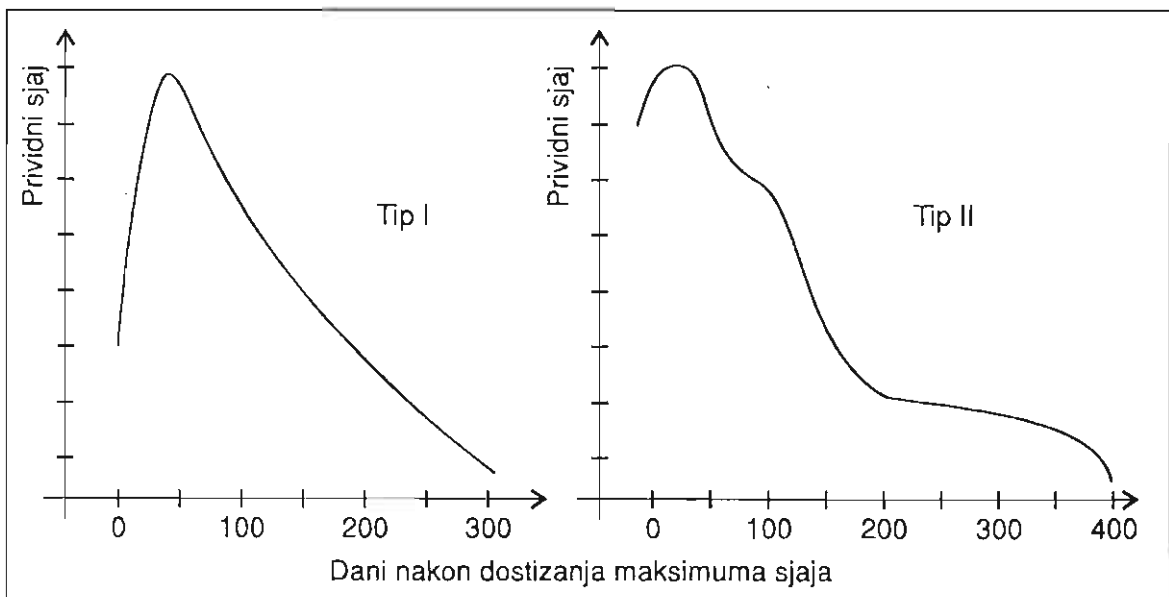
Supernove zvijezde

Supernove zvijezde predstavljaju jednu od najgrandioznijih pojava u svemiru. Kada su u maksimumu sjaja,

supernove svijetle kao sistem od više desetina milijardi zvijezda. U toku povjesti čovječanstva zabilježeno je više ovakvih zvjezdanih eksplozija. Supernove se opažaju u drugim galaksijama. U vrijeme pojave posljednje opažene supernove u Mliječnom putu, 1604. godine, još nije bilo teleskopa i drugih instrumenata.

Ispitivanjem starih kineskih i japanskih kronika pronađeni su opisi pojava supernovih zvijezda. Tako se u kineskoj enciklopediji Ma Tuan-Lina kaže: "*U prvoj godini perioda Ši-Ho (1054. godina), u petom mjesecu, u dan Či-Ču (4.jula), pojavila se zvijezda gost, približno nekoliko palaca jugoistočno od zvijezde Tien-Kuan (ζ Bika). Poslije više od godinu dana, ona je postala nevidljiva*".

Ostatak ove kosmičke katastrofe je poznata maglina Rakovica ili Krab maglina. Ona se kao slaba mrljica svjetlosti vidi i sasvim malim teleskopima. U već pominjanom Messierovom katalogu označena je kao M1. Tako se, zahvaljujući kineskoj hronici, razjasnilo porijeklo ovog, po mnogo čemu neobičnog svemirskog objekta.



Sl.220 Tipične krive sjaja supernovih I i II tipa

jednom ili više puta tokom života ovakvog sistema.

U posljednjim decenijama, najviše pažnje je izazvala eksplozija nove u sazviježđu Labuda. Krajem augusta 1975. godine ona se pojavila u blizini zvijezde Deneb, sjajna kao objekat druge prividne veličine. Oblast oko nove zvijezde je godinu dana ranije snimljena na foto pločama "Sarajevskog atlasa neba". Upoređivanje snimaka pokazalo je da se na mjestu eksplozije nije nalazila ni jedna zvijezda sjajnija od 16 magnituda. Američki astronomi, pregledom Palomarskog atlasa neba nisu opazili ni jedan objekat sjajniji od 21 prividne veličine. To znači da je nova od prvobitnog stanja do maksimalnog sjaja prešla ogroman raspon od najmanje 19 prividnih veličina.

Godina 1975. ostaće poznata po još jednoj novoj koja je najprije opažena rentgenskim satelitom "Ariel V".

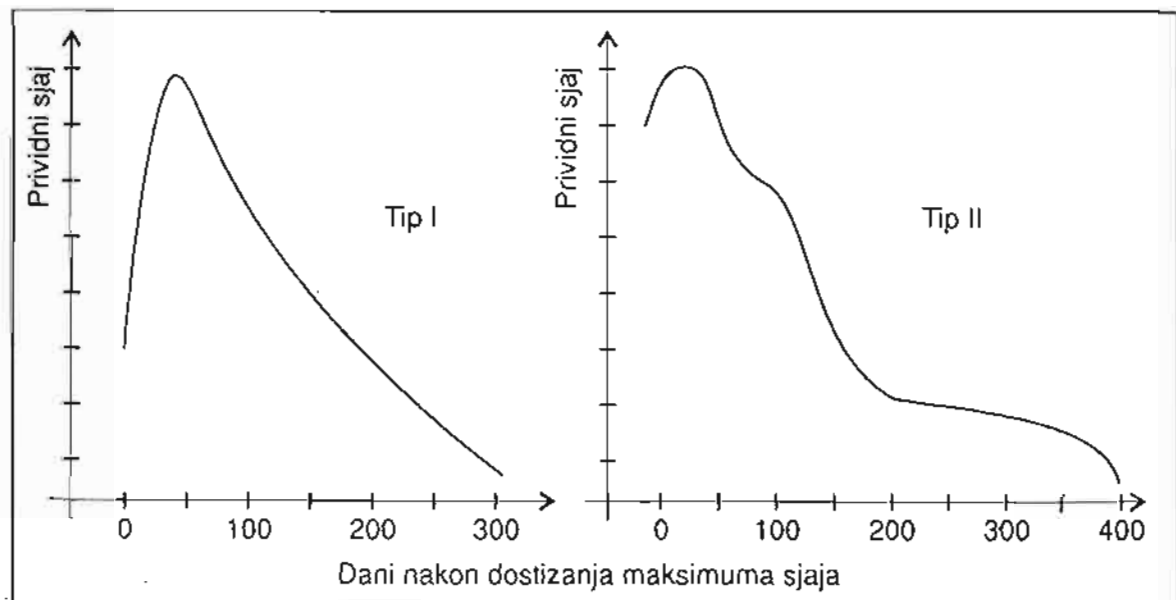
Supernove zvijezde

Supernove zvijezde predstavljaju jednu od najgrandioznijih pojava u svemiru. Kada su u maksimumu sjaja,

supernove svijetle kao sistem od više desetina milijardi zvijezda. U toku povjesti čovječanstva zabilježeno je više ovakvih zvjezdanih eksplozija. Supernove se opažaju u drugim galaksijama. U vrijeme pojave posljednje opažene supernove u Mlječnom putu, 1604. godine, još nije bilo teleskopa i drugih instrumenata.

Ispitivanjem starih kineskih i japanskih kronika pronađeni su opisi pojava supernovih zvijezda. Tako se u kineskoj enciklopediji Ma Tuan-Lina kaže: "U prvoj godini perioda Ši-Ho (1054. godina), u petom mjesecu, u dan Či-Ču (4. jula), pojavila se zvijezda gost, približno nekoliko palaca jugoistočno od zvijezde Tien-Kuan (ζ Bika). Poslije više od godinu dana, ona je postala nevidljiva".

Ostatak ove kosmičke katastrofe je poznata maglina Rakovica ili Krab maglina. Ona se kao slaba mrljica svjetlosti vidi i sasvim malim teleskopima. U već pominjanom Messierovom katalogu označena je kao M1. Tako se, zahvaljujući kineskoj hronici, razjasnilo porijeklo ovog, po mnogo čemu neobičnog svemirskog objekta.



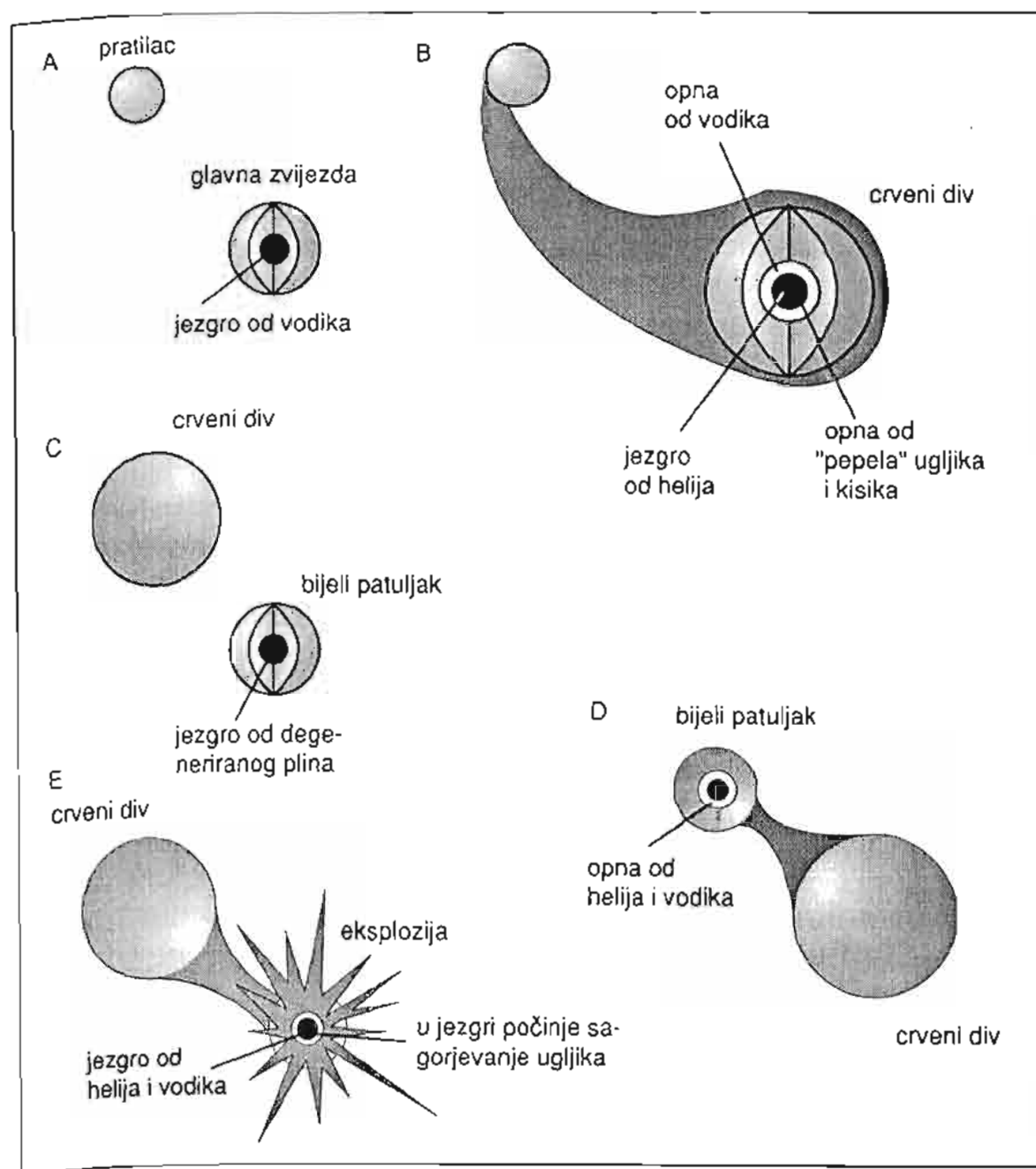
Sl.220 Tipične krive sjaja supernovih I i II tipa

U sazviježđu Kasiopeje je 1572. godine eksplodirala jedna supernova. Nju je posmatrao i opisao posljednji veliki astronom predteleskopske ere, Tiho de Brahe. Danas se na ovom mjestu nalazi maglina koja je u radio katalozima označena kao **Kasiopeja A**. To je najsnažniji izvor radio valova koji je moguće registrirati sa Zemlje.

Izučavanje krivih sjaja supernovih, vodilo je zaključku o postojanju dva

osnovna tipa. **Supernove I tipa** imaju u momentu maksimuma sjaja kontinuirani spektar. **Spektri supernovih II tipa** liče na spektre običnih novih. U maksimumu sjaja, supernove imaju apsolutne veličine od -12^m do -18^m . Slika 220 prikazuje tipične krive sjaja ova dva tipa supernovih zvijezda.

Prilikom eksplozije, materija se kreće brzinama od oko 6000 kms^{-1} . Energija te eksplozije ima vrijednost



Sl.221 Faze nastanka i eksplozija supernove I tipa.



SI.222 Supernova 1987. godine u Velikom Magelanovom oblaku

od 10^{42} do 10^{44} J. Toliko energije Sunce izrači za oko milijardu godina. Nema sumnje da faza supernove predstavlja suštinsku transformaciju jedne zvijezde.

Za supernove I tipa postoji slijedeći mogući model. Na početku imamo dvojni sistem u kome je masivnija zvijezda sa glavnog niza u H-R dijagramu (sl.221 A). Primarna zvijezda postepeno evoluirala u crvenog diva. Tada joj u jezgru "sagrijeva" helij, a oko jezgra "gori" vodik. U središtu se formira "pepeo" sačinjen od ugljika i kisika. Crveni div se počinje širiti (sl.221 B) i njegova materija počinje da struji ka pratiocu. Gubeći materiju, primarna zvijezda prelazi u stadij bijelog patuljka, građenog uglavnom od ugljika i kisika (sl.221 C). U međuvremenu, pratilac postaje crveni džin i vraća materiju ka bijelom patuljku (sl.221 D). Time masa bijelog patuljka raste. Kada dostigne Chandrasekharovu granicu, njegovo jezgro kolapsira i tada ugljik počinje svoj proces nuklearnog sagorijevanja, ali ovaj put eksplozivno. Nesposoban da

se stabilizuje, bijeli patuljak tada eksplodira (sl.221 E).

Za supernove II tipa pretpostavlja se da su usamljene zvijezde velike mase (6 do 20 masa Sunca). Tako masivna zvijezda sagorijeva veoma brzo. Kada se, nakon niza nuklearnih ciklusa, formira željezno jezgro, ono brzo dostiže Chandrasekhar-ovu granicu. U procesu kolapsa dolazi do spajanja protona i elektrona i formiranja neutrona. Pri tome se, pored ostalog, emituju i neutriini. Kada se kolaps, usljed unutrašnjeg pritiska, zaustavi, pojavljuje se udarni val koji se širi sa brzinom od preko 30 000 kms^{-1} . U središtu supernove ostaje kompaktni objekat, neutronska zvijezda ili pulsar.

Nastanak i razvoj jedne supernove II tipa mogao se u posljednjoj deceniji pratiti na primjeru prve bliske eksplozije nakon otkrića teleskopa. Naime, za posljednjih tisuću godina, opaženo je samo pet sjajnih supernovih. Posljednja od njih, posmatrana je 1604. godine, a bila je supernova I tipa. Sa

opservatorije Las Campanas u Čileu je, 24. 2.1987. godine, opažena supernova II tipa. Nalazila se u sastavu Velikog Magellan-ovog oblaka, patuljaste nepravilne galaksije, pratioca Mliječnog puta.

Za ovaj izuzetni astronomski događaj bile su vezane slijedeće bitne karakteristike:

- radilo se o prvoj supernovoj za koju je ustanovljena zvijezda koja je eksplodirala (zvijezda progenitor)

- bila je nešto slabijeg sjaja nego što je to slučaj sa supernovima II tipa

- prvi put u povijesti, opažen je snop neutrina sa jedne zvijezde i registrovan pomoću detektora smještenih duboko ispod zemlje

- u posmatranju ove grandiozne pojave, pored zemaljskih teleskopa, učestvovali su i brojni sateliti i letjelice, pa se tako zvijezda mogla pratiti u svim područjima elektromagnetskog spektra

Na mjestu eksplozije se, prema fotografskim pločama koje su ranije načinjene, nalazila zvijezda Sanduleak (Sk) -69° 202. Veliko je iznenađenje izazvao podatak da se radilo o plavom divu, a ne crvenom za koga su

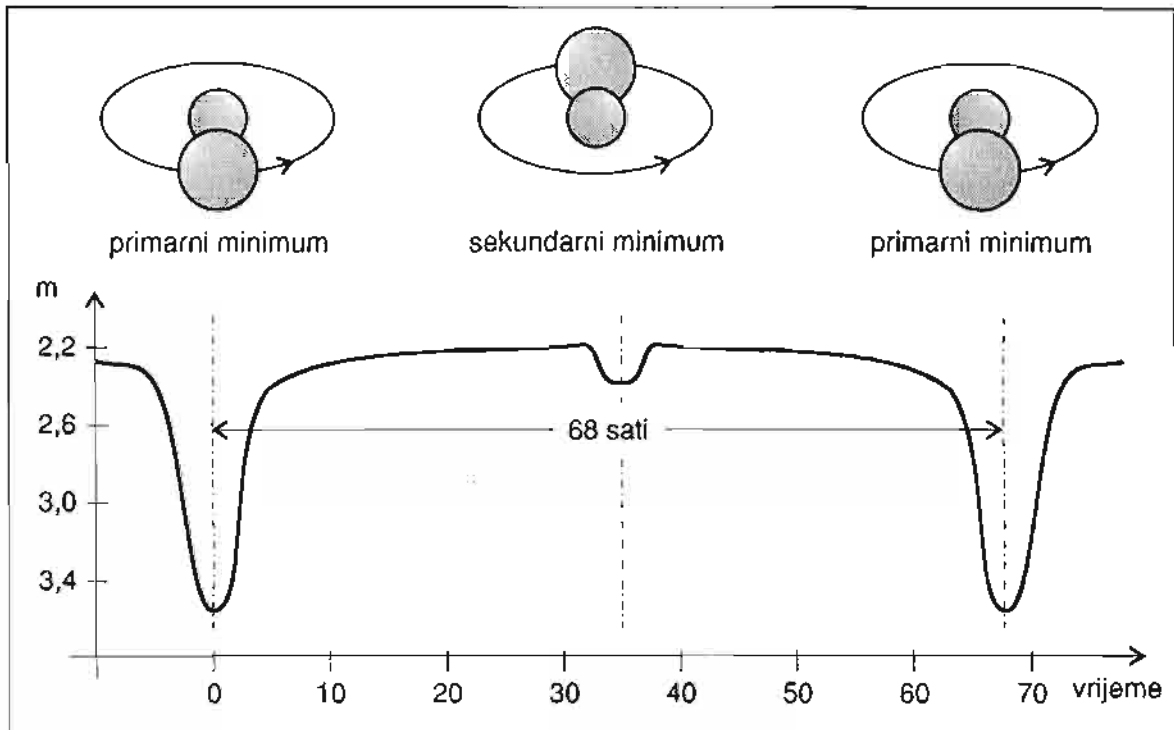


Sl. 223 Supernova snimljena Hubble-ovim svemirskim teleskopom

se vezivale teorije o supernovima II tipa. Najvjerojatniji mogući scenario astrofizičkih procesa za SN 1987. bio bi slijedeći:

Zvijezda je rođena astronomski gledano, nedavno, prije desetak miliona godina. Sa masom od 16-20 masa Sunca, najveći dio života je provela zračeći energiju nastalu fuzijom vodika u helij. Pri tome je bila plave boje i intenzivno zračila u ultraljubičastoj oblasti. U središtu zvijezde temperatura je bila oko 40 miliona stepeni. Radius joj je iznosio 6 radiusa Sunca, a gustina $5 \cdot 10^{10} \text{ kgm}^{-3}$. Potrošnjom nuklearnog goriva naša buduća supernova je prešla u oblik sa helijumskim jezgrom i tankom ljuskom vodika. U toj ljusci su nastavljeni procesi transformacije vodika u helij. Jezgro se počelo skupljati i temperatura je u središtu zvijezde porasla na 170 miliona stepeni, a gustina materijala dostigla veličinu od $9 \cdot 10^9 \text{ kgm}^{-3}$. Počele su termonuklearne pretvorbe helija u ugljik i kisik.

Vanjski slojevi su se u međuvremenu raširili do dimenzija Zemljine orbite oko Sunca. Sanduleak -69° 202 je postao crveni div. Helij je postepeno "izgorio" i nastalo je jezgro građeno od kisika i ugljika sa masom od četiri sunčeve. Zvijezda je nastavila da se skuplja, ali sada u tome sudjeluju i vanjski slojevi. Ona je ponovo u fazi plavog diva. Kada temperatura u središtu dostigne 700 miliona stepeni, a gustina $1500 \cdot 10^5 \text{ kgm}^{-3}$, ugljik počinje nuklearnu pretvorbu u neon, natrij i magnezij. Nakon toga, neon prelazi u kisik i magnezij, a temperatura je tada oko 1,5 milijardi stepeni uz gustinu materije od 10^{10} kgm^{-3} . Ova faza traje svega nekoliko godina.



SI.224 Nastanak primarnih i sekundarnih maksimuma prilikom pomračenja zvijezde Algol (gore) i kriva promjene sjaja ovog sistema (dole)

Narednih nekoliko godina traje proces gorenja kisika koji pri tome prelazi u silicij i sumpor. Temperatura u središtu je tada oko 2,1 milijardi stepeni. Sve vrijeme, velike količine neutrina odnose dio unutrašnje energije. Posljednja faza je "topljenje" silicija u moru alfa čestica, protona i neutrona, te formiranje jezgra od elemenata iz grupe željeza. To je i kraj. Gravitacija postaje sve jača. Zvijezda skupljanjem proizvodi novu energiju u unutrašnjosti. Kolaps je nezaustavljiv i produžava se sve dok središnja gustina ne poraste za faktor od milion puta. Brzina kolapsa dostiže $70\,000\text{ km s}^{-1}$. Vanjski slojevi nisu u stanju da slijede ovaj katastrofalno brzi proces. Centralna gustoća postaje veća od srednje gustoće atomske jezgre ($2,4 \cdot 10^{17}\text{ kg m}^{-3}$). Na tom stadiju, nuklearne sile koje su inače privlačne, postaju odbojne. Kada se to desi, otpor kolapsu postaje ogroman. Ovaj nuklearni pritisak i pritisak plina relativis-

tičkih elektrona (tj. elektrona koji se kreću brzinama bliskim svjetlosti) dovodi do toga da vanjski slojevi jezgra zvijezde prestaju sa kolapsom. Oni počinju da se kreću natrag od centra ka periferiji u vidu udarnog vala (udarnog šoka). Zbog toga dolazi do eksplozije i odbacivanja vanjskih slojeva. Jezgro kolapsira i, zavisno od svoje mase, završava kao neutronska zvijezda ili crna jama. Dosadašnja posmatranja ukazuju da je u slučaju SN 1987. godine došlo do formiranja pulsara, odnosno neutronske zvijezde.

Supernove i nove zvijezde su poslužile kao još jedan od putokaza za mjerenje udaljenosti u svemiru. Ranije smo pomenuli da apsolutni sjaj novih ili supernovih određenog tipa, ima neku konstantnu vrijednost. Tako, ako u nekoj galaksiji opazimo novu ili supernovu, onda poznavajući njen prividni sjaj i procjenivši apsolutni sjaj, dolazimo i do približne udaljenosti tog zvjezdanog sistema.

Pomračujuće (eklipsne) promjenljive zvijezde

Pomračujuće ili ekliptsne promjenljive zvijezde su posebna i zanimljiva grupa svemirskih objekata. Nekada se nazivaju i pomračujuće dvojne zvijezde, što nije slučajno, jer se radi o sistemima od dva ili više sunaca koja se međusobno zaklanjaju i na taj način dolazi do promjena sjaja koje uočavamo.

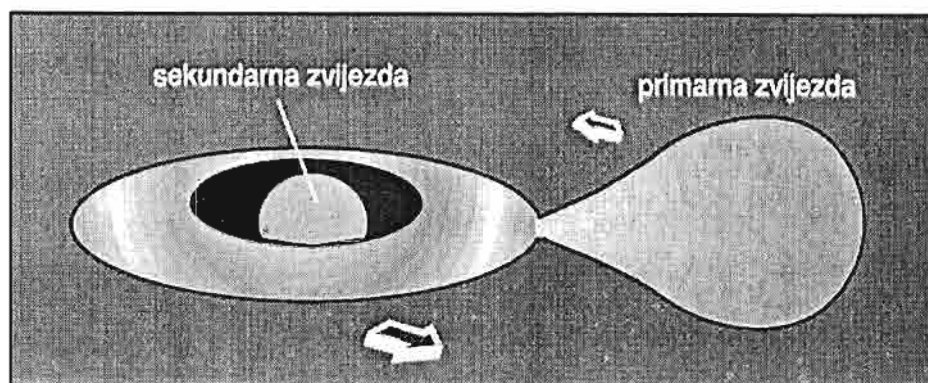
Ovdje se ne radi o pravim, fizičkim promjenljivim zvijezdama kod kojih se promjene sjaja odvijaju usljed procesa u njihovim unutrašnjostima ili na njihovim fotosferama. Pomračujuće zvijezde su bogati izvori brojnih podataka o fizičkim osobinama zvijezda uopće, pa se stoga izučavaju. Istraživanjima krivih promjene sjaja jednog takvog sistema možemo doći do podataka o radiusima komponenti, odstupanjima od kuglastog oblika zvijezda, opadanju sjaja od središta zvjezdanih diskova ka rubovima itd. Kada možemo mjeriti pomoću spektra ugaone brzine komponenti jednog pomračujućeg sistema, tada možemo dobiti i podatke o masama tih sunaca.

Algol ili β **Perzeja** je bio prva pomračujuća promjenljiva zvijezda

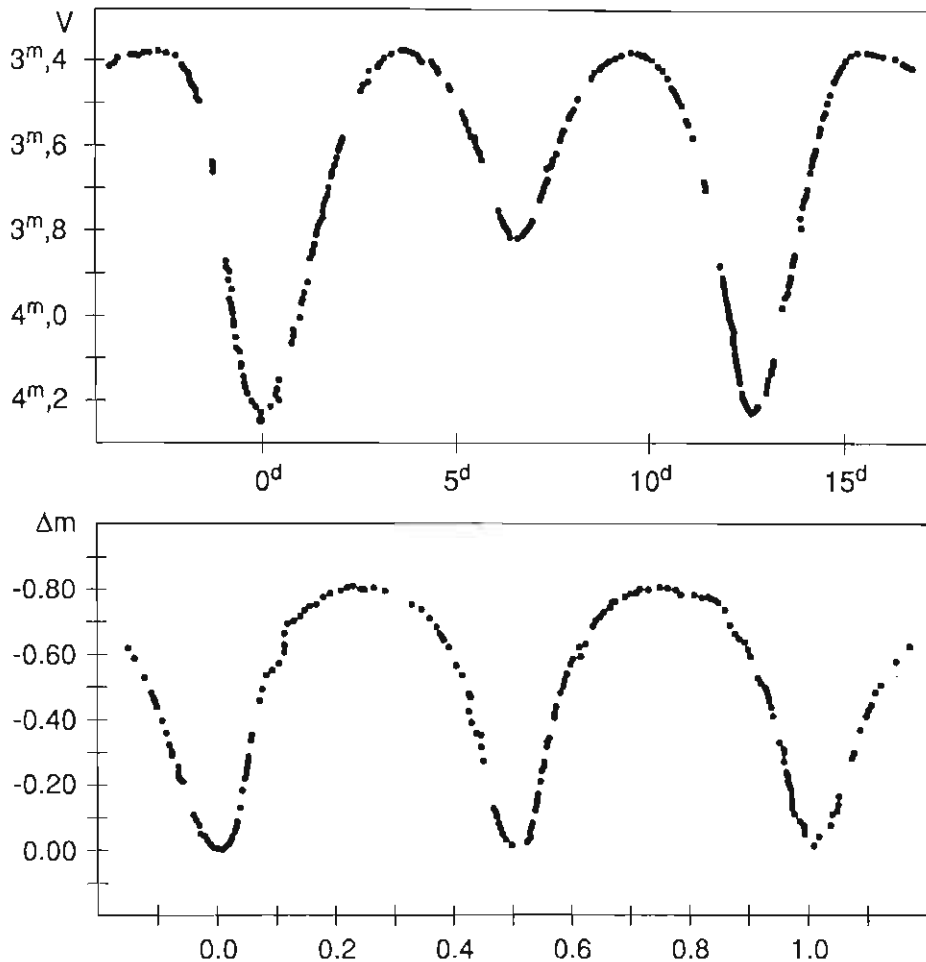
koja je otkrivena. Samo otkriće promjena u sjaju pripisuje se **Montanariju**, a zabilježeno je 1669. godine. Nakon više od jednog stoljeća, **John Goodricke** je tačno izmjerio period promjene sjaja i ustanovio da on iznosi 2 dana i 21 sat. Goodricke je, iznenađujuće oštromno za to doba, pretpostavio da promjene sjaja Algola izaziva tamni saputnik koji ga povremeno zaklanja kružeći oko sjajnije zvijezde. Isti posmatrač otkrio je i drugu poznatu pomračujuću promjenljivu, β **Lire**.

Prema savremenim saznanjima, sistem zvijezde Algol grade plavi i crveni div koji su na međusobnom razmaku od 9 miliona kilometara. Između njih se odvija transfer materije.

β **Lire** je pomračujući sistem kod koga se u periodu od oko 13 dana, dešavaju dva maksimuma i dva minimuma sjaja. Maksimumi su gotovo jednaki po veličini (prividnog sjaja od oko 3,2). Minimumi su različiti. Jedan je dublji i ide do prividnog sjaja od 4,1, a drugi dostiže prividni sjaj od 3,8. Najvjerojatniji model sistema β **Lire** bi mogao izgledati ovako. Primarna zvijezda, spektralnog tipa B7 ili B8, dva puta je masivnija od Sunca. Usljed blizine znatno masivnije sekundarne



Sl. 225 Crtež mogućeg izgleda pomračujućeg dvojnog sistema zvijezde β **Lire**



Sl.226 Krive sjaja zvijezda β Lire i W Velikog Medvjeda. EkspONENT d na gornjoj horizontalnoj osi označava dane. m je razlika prividnih veličina zvijezde u raznim trenucima posmatranja, a V je prividna veličina u vizuelnom dijelu spektra.

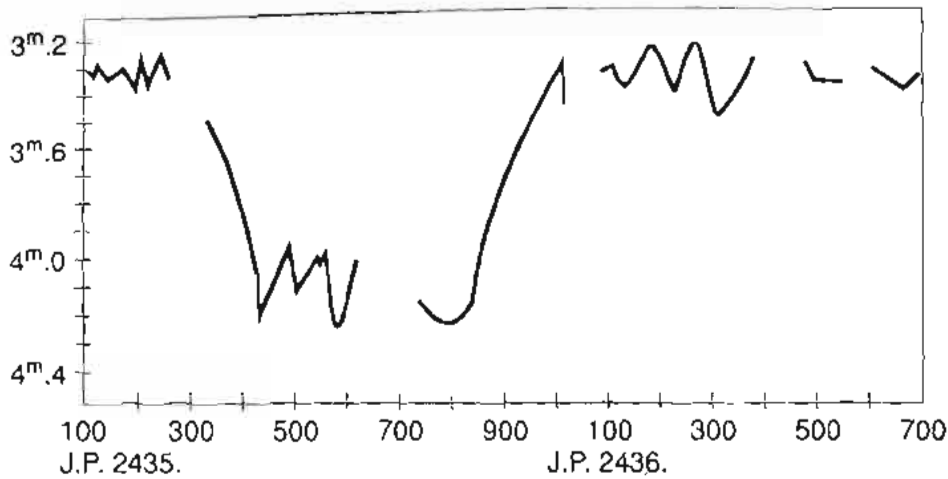
zvijezde (12 sunčevih masa) ona ima oblik elipsoida i materija postepeno ističe ka drugoj zvijezdi.

Tako se oko te sekundarne komponente formira oblak materije u obliku torusa koji je većim dijelom zaklanja. Kada se ova zvijezda, skupa sa torusom tamnijeg materijala nađe ispred sjajnije zvijezde, ona izaziva pomračenje. To je trenutak dubokog minimuma. Kada je sekundarna zvijezda iza primarne, tada se dešava drugi minimum koji nije tako dubok.

Zvijezda **W Velikog Medvjeda** je predstavnik treće zanimljive grupe pomračujućih zvijezda. Njen sekundarni minimum je jednako dubok kao i

primarni. Ova zvijezda je udaljena od nas oko 200 svjetlosnih godina. Prividni sjaj joj se mijenja od $7,9$ do $8,7$ veličina. Period promjene sjaja traje 8 sati i 27 sekundi. Primarna zvijezda ima spektralni tip F8, apsolutni sjaj $+4,42^m$, a prečnik $1,14$ puta veći od prečnika Sunca. W V. Medvjeda ima masu jednaku masi Sunca. Slabija zvijezda je tipa F6, apsolutnog sjaja $+4,75^m$, prečnika $0,83$ sunčevog i mase 60% od sunčeve.

Međusobno rastojanje centara ova dva sunca je oko 15 miliona km. Usljed međusobne blizine, zbog gravitacije, zvijezde su deformirane u elipsoidne oblike i nalaze se u dodiru.



SI.227 Kriva sjaja zvijezde ϵ Aurigae

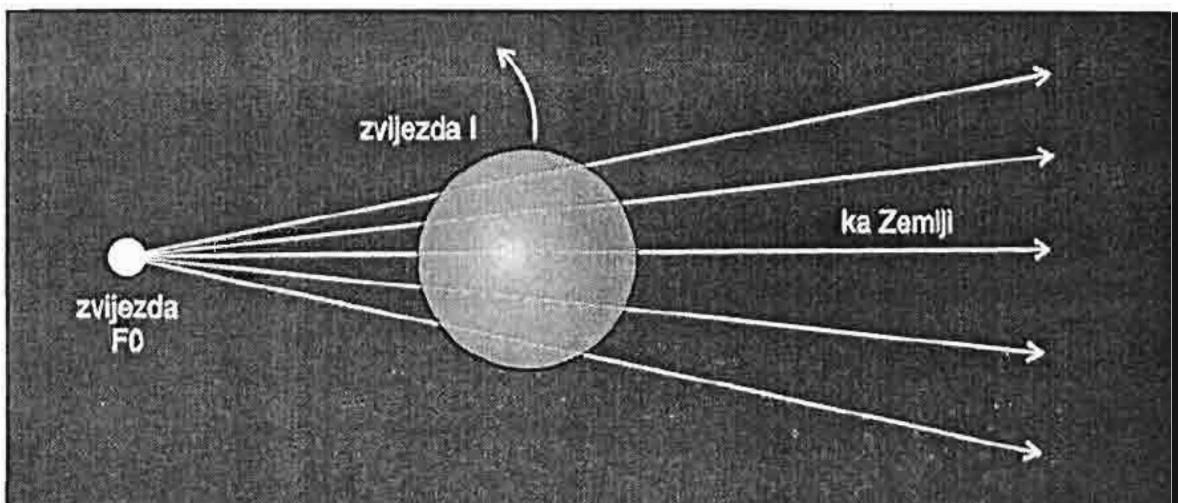
Dobar dio pomračujućih možemo svrstati u tijesne ili bliske dvojne zvijezde.

U nekim slučajevima, članovi ovakvih sistema pored promjena sjaja zbog pomračenja, pokazuju i neke fizičke promjene sjaja. Takav je slučaj sa **V Strijele**.

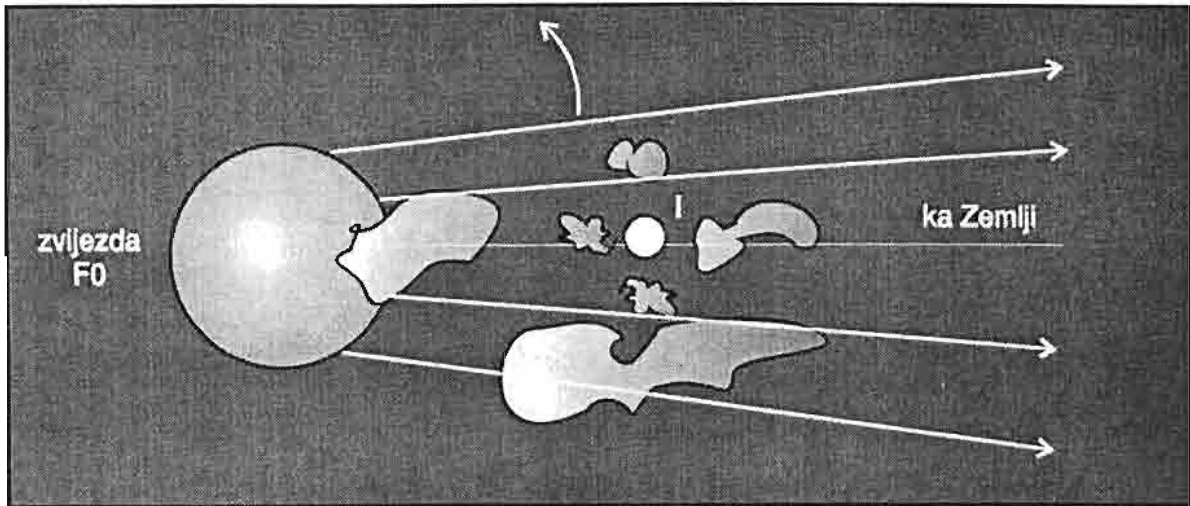
Kod jednog dijela pomračujućih sistema, komponente su dovoljno razdvojene. Kao primjer posebno interesantne pomračujuće zvijezde, opisaćemo ϵ **Aurigae** (Kočijaša). Svaki 27,1 godinu dešava se pomračenje koje traje oko 2 godine. Tokom predposljednjeg pomračenja (1955-

1957. godine), pokazalo se da je ova zvijezda i polupravilna fizička promjenljiva.

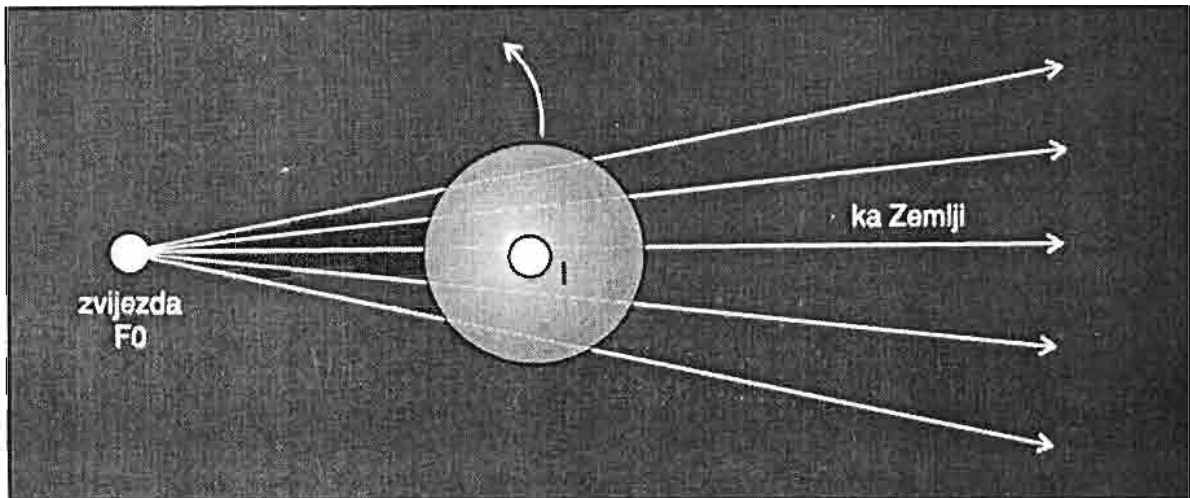
Posmatranja su pokazala da je radius relativne orbite sjajnije komponente oko 2 milijarde kilometara. Ono što je posebno zanimljivo je činjenica da u spektru nema nikakvih tragova tamnije komponente. Oblik krive sjaja ukazuje da je pomračenje totalno tj. da tamnija komponenta prolazi tačno ispred sjajne i potpuno je prekriva. Iz ovoga se da zaključiti da bi tada morali posmatrati samo spektar te tamnije komponente sistema. No, moguće je i dalje posmatrati samo spektar sjajne



SI.228 Model Struve-Kuiper-Stromgren



Sl.229 Model sistema ϵ Aurigae koji je predložen 1955. godine.



Sl.230 Izgled sistema ϵ Aurigae prema M. Hack

zvijezde koji u momentu minimuma pokazuje cijepanje linija.

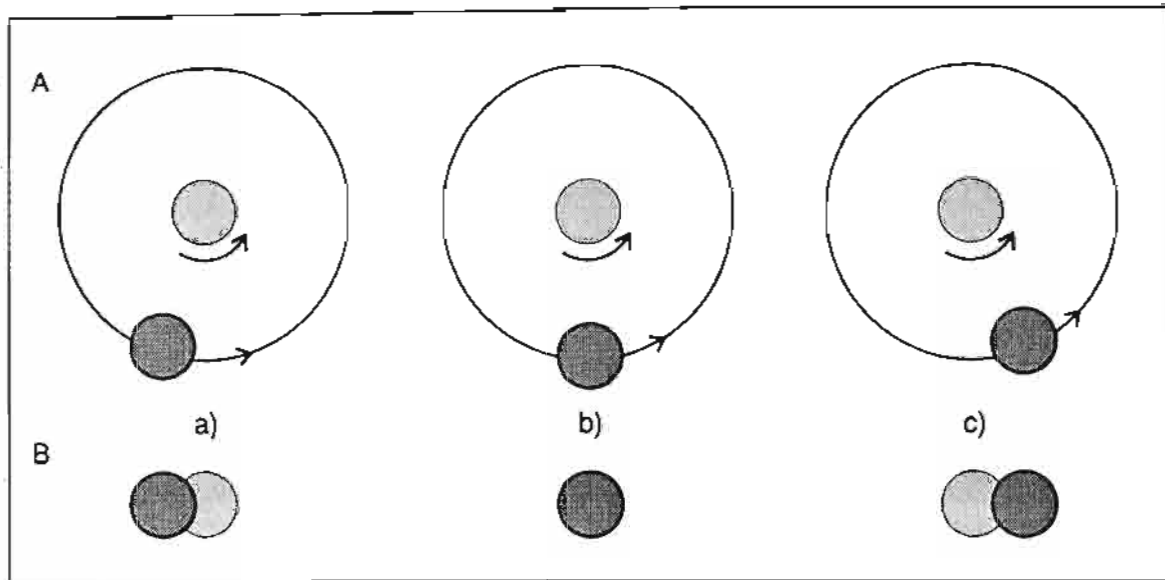
Ovo je navelo **Struve-a, Kuiper-a i Stromgren-a** da još 1937. godine pretpostave slijedeći model za ϵ Aurigae. Superdivovska zvijezda tipa F0 ima infracrvenog saputnika (I), čiji su razmjeri ogromni. Istovremeno, gustoća materije tog saputnika je veoma mala. Na slici 228 dat je izgled sistema u ovom slučaju.

Drugo rješenje je predloženo 1955. godine. Oko zvijezde F0 kruži mali saputnik (I) koga obavija skup plinovitih oblaka koji se haotično kreću. Pod određenim uslovima dolazi do ioniziranja plinovitih oblaka koji postaju

neprozračni. Pomračenje nastupa upijanjem svjetlosti zvijezde F0 u tim oblacima. (Slika 229).

Šesdesetih godina je **Margaret Hack** dala jednu sličnu hipotezu. Po njoj, saputnik zvijezde F0 obavijen je velikim plinovitim oblakom. Svojom zračenjem, saputnik visoke temperature ionizira svoj oblak stvarajući neprozirnu školjku. Ta ionosfera upija svjetlost primarne zvijezde F0 u vrijeme pomračenja (Sl.230).

Među novije modele ubraja se i onaj po kome pomračenje izaziva veliki tamni disk koji posmatramo bočno. U njegovom centru nalazi se jedna ili dvije zvijezde slabog sjaja. Iz krive sjaja



SI.231 Pomračujući sistem posmatran odozgo (A) i sa strane (B)

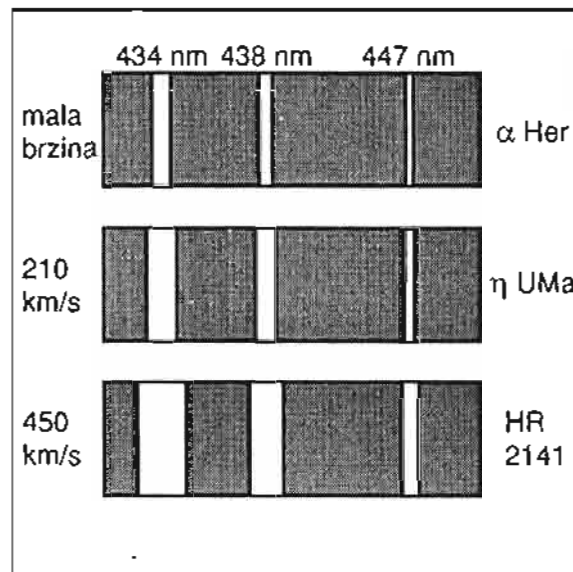
proizilazi da bi oblik diska okrenut ka nama bio pravokutan, što je teško objasniti.

Jedan od najzanimljivijih modela polazi od toga da oko Aurigae kruži nagnuti disk od djelimično prozračnog materijala. U njemu se nalaze oblasti bez materije (slično prazninama između Saturnovih prstenova). To bi bio u stvari tipičan protoplanetski oblak kakav je nekada okruživao Sunce prije rađanja planeta i kakvi se danas otkrivaju svemirskim teleskopom.

Posljednje pomračenje ovog sistema desilo se u periodu 1982-1984. godine. Tada je, u okviru međunarodne kampanje, sjaj ove zvijezde bio fotoelektričnim putem mjeren i sa Astronomske opservatorije u Sarajevu.

Rotacija zvijezda

Do prvih podataka o sopstvenoj rotaciji zvijezda došlo se istraživanjem krivih radijalnih brzina pomračujućih dvojnih zvijezda. Primjećeno je da, u vrijeme djelimičnog pomračenja, prije glavne faze, radijalne brzine



SI.232 Spektri tri karakteristične zvijezde sa različitim brzinama rotacije. Širine spektralnih linija su različite i u skladu su sa brzinama rotacije pojedine zvijezde.

postaju veće nego što bi to trebalo biti prema Keplerovim zakonima. Poslije glavne faze, radijalne brzine se smanjuju.

U slučaju A na slici 231, tamna komponenta je izazvala parcijalno pomračenje svijetlije komponente. Strijelice na slikama označavaju smjer rotacije tamne komponente oko sjajnije

zvijezde i smjer rotacija sjajnije zvijezde oko svoje ose. U nizu slika (231 B), vidljiv je izgled pojave za posmatrača smještenog u ravni papira. Spektar je moguće dobiti samo od sjajnije komponente. U slučaju *a* dobijamo spektar onog dijela zvijezde koji se udaljava od posmatrača zbog rotacije.

U momentu maksimalnog pomračenja (slučaj *b*), radijalna brzina je jednaka nuli, a u fazi *c* imamo smjer rotacije glavne zvijezde ka posmatraču. Primjećeno je da, ako je brzina kojom neka zvijezda rotira veća, onda, u njenom spektru dolazi do efekta širenja spektralnih linija. Širina svake linije može se mjeriti i, na taj način, doći do podataka o rotaciji i onih zvijezda koje ne ulaze u sastav tijesnih parova.

Pokazalo se da veoma veliku brzinu rotacije imaju zvijezde ranijih spektralnih tipova (O, B i A), a zvijezde kasnijih spektralnih tipova rotiraju znatno sporije.

Rađanje i evolucija zvijezda

Prema astronomskim istraživanjima u posljednjim decenijama, došlo se do zaključka da se zvijezde rađaju u grupama, kondenzacijom materije i kompleksnih oblaka međuzvezdane prašine i plinova. Obično se taj proces prelaska plinovito-prašinastog oblaka u zvijezde koje definiramo kao objekte sa termonuklearnim izvorima energije, naziva **protozvezdani stadij** u evoluciji zvijezda. Kada je međuzvezdana materija smještena u blizini vrućih zvijezda spektralnih tipova O i B, njena temperatura sa apsolutne nule može da poraste na 100 - 200 K. Pri tome međuzvezdana materija nije

ravnomjerno raspoređena. Ona se pojavljuje u vidu haotičnih zgušnjavanja i razrjeđenja, a u nekim oblastima galaksije, nje gotovo i nema.

Postepeno, pod djelovanjem sile gravitacije, počinje zgušnjavanje prašine i plinova. Zahvaljujući mehanizmu hlađenja međuzvezdanog plina, u oblaku koji se skuplja, ne dolazi do povišenja temperature i pritiska u takvim razmjerima da je moguće suprostavljanje daljem skupljanju. Zbog toga se skupljanje duže vrijeme odvija nesmetano. Daljim procesima, oblak počinje da se drobi na manje dijelove koji se nastavljaju skupljati svaki za sebe. Tako se na jednom mjestu formira niz zgušnjavanja. Ovakva mjesta opažena su u zonama tzv. galaktičkih maglina u vidu tamnih mrljica - **Bok-ovih globula**.

U ovoj fazi razvoja zvijezda, bitan faktor je masa oblaka koji se kondenzira. Ako je njegova masa manja od 7-8% mase Sunca, tada se u njegovoj unutrašnjosti nikada neće postići temperatura potrebna za otpočinjanje termonuklearnih procesa. Ovakve, nikada formirane zvijezde, astronomi nazivaju **smeđim patuljcima**. Pretpostavlja se da ih ima ogromni broj, ali ih je postojećim tehnikama vrlo teško detektovati jer odaju samo slabu infracrvenu svjetlost.

Nas, naravno, daleko više zanimaju slučajevi kada kondenzovana materija ima dovoljno veliku masu da otpočne nuklearno sagorijevanje. U jednoj fazi razvoja, materija protozvezde postaje neprozirna, pa se energija napolje ne može prenositi zračenjem, već na druge načine. Ova neprozirnost utiče na povišenje temperature u unutrašnjosti. Kada temperatura središnjih



Sl.233 Globule kometarnog oblika u regionu Gum-ove magline vidljive sa južne zemljine polukugle. Snimak je načinjen pomoću Schmidt teleskopa opservatorije ESO.

dijelova pređe 10 miliona stepeni (za zvijezde masivne poput Sunca), tada počinju termonuklearne reakcije koje vode stvaranju težih elemenata.

U slijedećoj fazi, zračenje se probije napolje i, usljed njegovog pritiska, sav preostali plin i materijal uopšte, bivaju "otpuhani". Pokazalo se da je materijal

koji je "odgurnut" od zvijezde u rađanju, po pravilu nesimetrično raspoređen. Najčešće se pojavljuju dva, suprotno usmjerena mlaza tog materijala. Pretpostavlja se da je u ovoj fazi zvijezda veoma spljoštena i više slična "frisbiju" nego kugli. Zbog toga zračenje lakše odlazi u smjeru polova nego kroz ekvatorske zone gdje je gustina i količina materijala veća.

Porastom temperature u novoformiranoj zvijezdi, prvi u nizu procesa je pretvorba vodika u helij. Obzirom na to da u unutrašnjosti zvijezda nema slobodnih neutrona (oni su nestabilni i imaju vrijeme poluraspada od 11 minuta), to se helij stvara spajanjem dva protona i izbacivanjem pozitrona. Tako se dobija jezgro deuterija ili teškog vodika koji je građen od jednog protona i jednog neutrona. Dva jezgra teškog vodika svojom fuzijom grade jezgro helija.

Nakon izvjesnog vremena (oko milion godina za najmasivnije zvijezde, a mnogo manje za one koje nisu tako masivne), čitav vodik u centralnim zonama zvijezde prelazi u helij. Kada se sav vodik u jezgru zvijezde utroši, ono počinje da se skuplja i temperatura mu pri tome raste do 200 miliona stepeni. Tada započinje nuklearno gorenje helija. Tri jezgre helija formiraju jedno jezgro ugljika. Taj proces se ne odvija direktno. Najprije se dva jezgra spoje u jedno, stvarajući nestabilno jezgro berilija, koje se raspada veoma brzo za oko $2 \cdot 10^{-16}$ s. Ako treće jezgro helija stupi u reakciju sa berilijem prije njegovog raspada, tada će se formirati stabilno jezgro ugljika. Velika gustina materije je neophodna da bi se ostvarilo takvo spajanje u izuzetno kratkom vremenu.

Nakon novog vremenskog intervala

sav helij u središtu masivne zvijezde preći će u ugljik i kisik kojih će biti u približno jednakim količinama. Zvijezda će nastaviti da se skuplja, a njena unutrašnja temperatura će porasti do vrijednosti na kojoj ugljik počinje svoje nuklearno sagrijevanje. U tom procesu, spajaju se po dva jezgra ugljika, oslobađajući jedno jezgro helija, a rezultat te fuzije je jezgro neona. Negdje u vrijeme kada ugljik ulazi u igru, između jezgra zvijezde i vanjskog omotača koji još uvijek sadrži dovoljno vodika, formira se sloj čistog helija. Jezgro se i dalje skuplja, a vanjski slojevi se šire na daljinu od više sunčevih radijusa. Potrošnjom ugljika počinje fuzija još težih elemenata. Proces se završava kada se postigne temperatura od nekih 5 milijardi stepeni. Tada je jezgro zvijezde uglavnom građeno od željeza i elemenata kao što su hrom i nikl. Proces fuzije se dalje ne nastavlja jer bi proizvodnja težih elemenata iziskivala dodatnu energiju, a ne bi je oslobađala.

Šta će se na kraju desiti sa zvijezdom, zavisi prvenstveno od njene mase. Zvijezde čija je masa manja od mase Sunca, živjet će mnogo milijardi godina i umrijet će tiho. Skupljat će se, zatim će prestati da zrače i ohladiće se do kraja. One ne mogu nikada doći do viših stupnjeva fuzije jer im se jezgro, zbog male mase, ne može dovoljno zgusnuti da bi se postigle visoke temperature.

Zvijezde masivne poput Sunca će, nakon desetak milijardi godina života, preći u stadij crvenog diva. Vanjski slojevi će se raširiti do ogromnog volumena, a jezgro će nastaviti sa skupljanjem. Time će se u centralnim zonama obezbjediti dovoljno energije za dalju transformaciju helija u ugljik.

Fuzijom će nastajati sve teži i teži elementi. Svaki put će se odbacivati dio materijala iz vanjskih slojeva i na kraju će ostati samo ogoljelo jezgro malih dimenzija, ogromne gustine i visoke temperature - bijeli patuljak. Odbačena materija formiraće oblak oko zvijezde koji poznajemo kao planetarnu maglinu. Vremenom će se taj plin i prašina raspršiti u prostor i ostaće samo bijeli patuljak. On će se dugo hladiti i nakon nekih 50 milijardi godina će se ugasi. Umrijet će kao crni patuljak.

Zvijezde koje su od Sunca masivnije za nekih 5 do 10 puta, umiru već nakon nekoliko miliona godina po rođenju. Njihova smrt je spektakularna. Eksplodirajući kao supernove, one svojim sjajem nadmašuju ukupni sjaj stotinjak milijardi zvijezda koje tvore galaksiju prosječne veličine. Eksplozija počinje u jezgru i udarni val raznosi vanjske slojeve zvijezde brzinom od desetak i više tisuća kilometara u sekundi. Jedna od posljedica eksplozije može biti i formiranje jezgra od željeza i njemu bliskih elemenata. Proizvodnja ogromnog broja neutrona u procesu eksplozije, kao i njihovo spajanje sa željeznim jezgrama, vodi formiranju težih elemenata kao što je uran. Rezultat ovog procesa je formiranje neutronske zvijezde, kolapsom središnjih dijelova. U slučaju masivnijih zvijezda moguće je i formiranje crne jame.

Dio materijala koji se izbaci u svemirski prostor nakon eksplozije supernove, obogaćuje međuzvjezdanu materiju teškim elementima.

Obzirom na to da se sve zvijezde nisu rodile u istom trenutku, nego se rađaju i danas, to se i ta činjenica mora uzeti u obzir. Zvijezda nastala kao

produkt evolucije ranije nastalih zvijezda i koja je formirana od materije bogate težim elementima, biće po svojoj strukturi i nešto drugačija. Tako će njena ugljikova jezgra, hvatajući protone nastale procesom izgaranja vodika, da se transformišu u dušikove jezgre. Ovo su pojednostavljena razmatranja jer ne diskutujemo i o pojavi raznih izotopa.

Na kraju se možemo upitati, do kada će taj proces rađanja i evolucije zvijezda da traje. Jednom tom procesu mora doći kraj, jer se samo dio materije vraća u svemirski prostor. Za sada ne poznajemo mehanizme koji bi mogli dovesti do rađanja većeg broja zvijezda iz istrošene međuzvjezdane materije. Zvijezde koje umru ohlađene, a njih je najveći broj, praktično zadržavaju najveći dio svoje materije kao mrtva i hladna tijela.

Kada se potroše sve rezerve međuzvjezdanog plina i prašine, zvijezde će se prestati rađati. One koje su posljednje nastale, umirat će jedna za drugom. Sunce i stare zvijezde će do tada već nestati sa kosmičke scene. Samo bi rijetki međusobni sudari mrtvih zvijezda mogli unositi kratkotrajne bljeskove u opću tamu univerzuma. Svemir će u tim dalekim eonima očigledno biti mrtav i hladan.

Ovaj scenarij koji je opisan predstavlja neke od mogućih evolucionih puteva zvijezda. Raznolikost svijeta zvijezda zahtijevala bi izučavanje rađanja i životnih puteva svake od posebnih grupa.

Konačni kraj svemira onog kakvog danas poznajemo, ne zavisi samo od sudbine zvijezda. On može biti različit i u mnogome zavisnosti od toga koji je od kosmoloških modela koji su do sada razrađeni bliži stvarnosti.

5. GALAKTIČKA ASTRONOMIJA

MLIJEČNI PUT - NAŠA GALAKSIJA -

U tamnim vedrim noćima, kada Mjesec nije na nebu i ako se nalazimo dalje od gradskih svjetlosti, lako ćemo zapaziti nepravilnu i široku svjetlucavu traku koja se u ljetnim ili zimskim mjesecima pruža preko zenita, od horizonta do horizonta. Zahvaljujući starogrčkoj legendi, većina naroda svijeta ovu nebesku stazu poznaje kao Mliječni Put. Dugo vremena, o prirodi ove magličaste trake, nije se znalo gotovo ništa. Magellan je, tokom svog putovanja oko svijeta, ustanovio da se svjetleći pojas Mliječnog Puta prostire oko čitave nebeske sfere, slijedeći jednu veliku kružnicu.

Prvi teleskop je, početkom 17 stoljeća, omogućio Galileju da otkrije jednostavnu činjenicu da se magličasta prašina Mliječnog Puta sastoji od tisuća i miliona zvijezda slabog sjaja. Njih ljudsko oko ne može vidjeti kao pojedinačne svijetle tačkice. Čak i vrlo površno posmatranje ove nebeske

staze, vodi nas zaključku da ona nije homogena već da postoje oblasti većeg i manjeg sjaja, odnosno veće i manje koncentracije zvijezda. Posebno gusti oblaci zvijezda nalaze se u sazviježđima Strijelac i Štit. Danas znamo, da u tom pravcu, skriveno divovskim masama tamne materije, leži i srce velikog zvjezdanog točka što se već desetak milijardi godina vrti rađajući zvijezde u svojim spiralnim kracima.

Prva istraživanja pojasa Mliječnog Puta vršio je **William Herschel**. On je sistematski brojao zvijezde u vidnom polju svog teleskopa i to na većem broju izabраниh površina. Ovaj, relativno primitivan metod, dao je neke rezultate. Herschel je zaključio da broj zvijezda raste sa približavanjem centralnoj nebeskoj kružnici koja bi se mogla povući kroz najgušće zone ove trake. Herschel nije znao da je naš zvjezdani sistem samo jedan od milijardi takvih u svemiru. Zbog toga je smatrao da ovim brojanjem istražuje raspored zvijezda u čitavom svemiru. Zaključio je da su one raspoređene u



Sl.234 Panorama Mliječnog Puta načinjena slaganjem više pojedinačnih snimaka. Rad opservatorije Lund u Švedskoj.

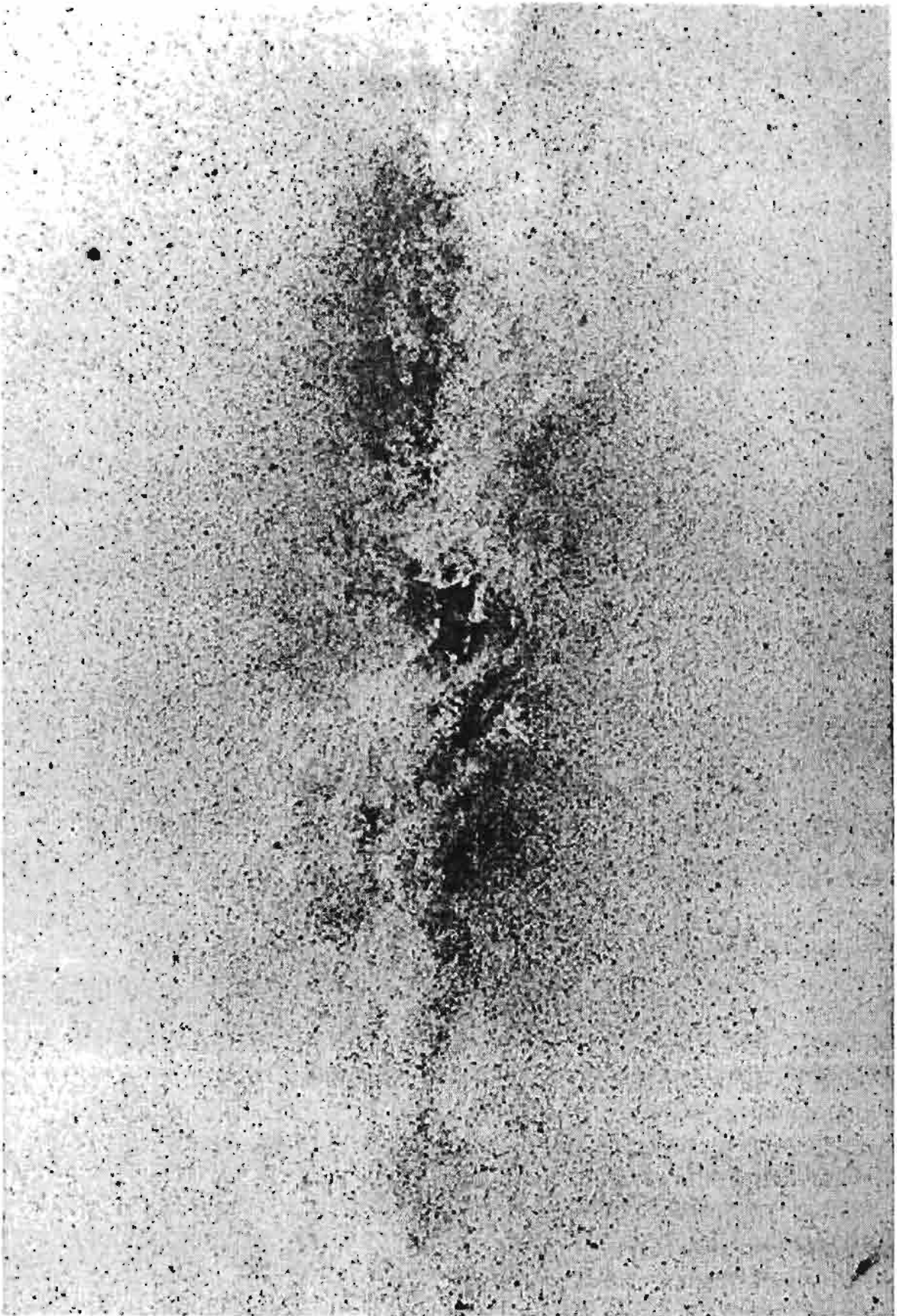
obliku ogromnog diska, a da je Sunce u samom središtu.

Iz Herschel-ovih posmatranja bilo je jasno da se Sunce nalazi u blizini glavne ravni ovog zvjezdanog točka i, zato, kada posmatramo nebo u tim smjerovima, vidimo više zvijezda nego kada nebo posmatramo u pravcima paralelnim sa osom tog diska.

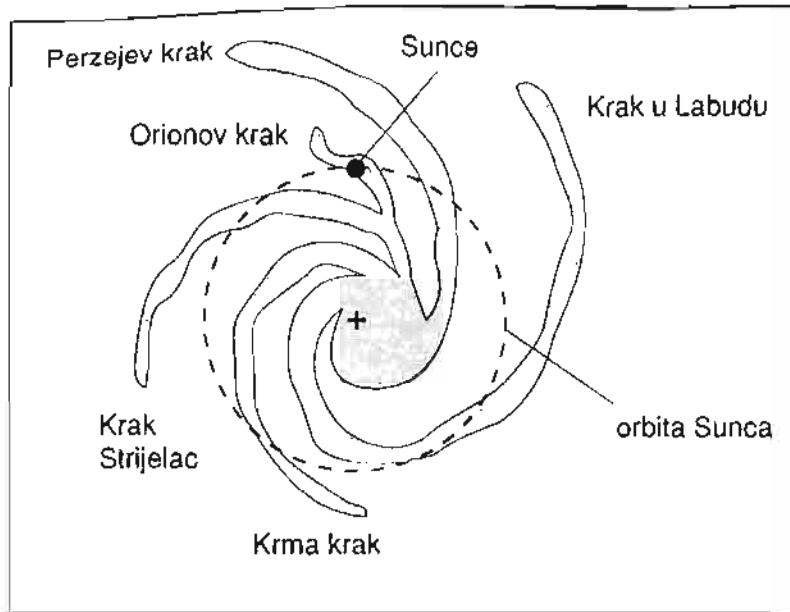
Kada se početkom 20 stoljeća definitivno potvrdilo da su vanga-laktičke magline, druge, daleke galaksije, istraživanje prave prirode Mliječnog Puta dobilo je novi zamah. Činjenica da se sjajne emisije magline nalaze isključivo u spiralnim kracima galaksija, vodilo je zaključku da bi ovi oblaci materije mogli poslužiti za istraživanje spiralne strukture Mliječnog Puta. Baade-ovo istraživanje Velike magline u Andromedi dovelo je

do otkrića da u bližim spiralnim galaksijama postoji grupisanje sjajnih, vrućih zvijezda, spektralnih tipova O i B. Ove mlade zvijezde se rađaju skupa i oblasti u kojima se nalaze nazivaju se **H II oblasti**. Svojom moćnom ultraljubičastom svjetlošću, ove zvijezde zagrijavaju mamutske oblake vodika. Posmatranja ovih oblasti u Mliječnom Putu vodila su identificiranju osnovnih spiralnih krakova naše galaksije. Utvrđeno je da se Sunce nalazi na unutrašnjem rubu spiralnog kraka nazvanog Ori-nov krak.

Kada se želi istraživati potpuna, trodimenzionalna struktura Mliječnog Puta, tada H II oblasti nisu dovoljne. Pristupilo se korištenju drugih metoda. Posebno važnu ulogu odigrala je radio-astronomija, a u okviru nje,



Sl.235 Snimak dijela Mliječnog Puta načinjen širokougaonom kamerom. Vidljive su oblasti od sazviježđa Kasiopeje, preko Cefeja i Labuda, do Orla. Desno dole primjećuje se magloviti oblačak - Velika maglina u Andromedi. Ovaj snimak je načinjen sa najjužnije opservatorije u Evropi, Rocque de los Muchachos, na otoku La Palma u Španjolskoj.



SI.236 Shema glavnih spiralnih krakova Mliječnog puta sa položajem Sunca i njegovom orbitom oko središta galaksije.

istraživanja zračenja vodika na valnoj dužini od 21,1 cm. Mase vodika između zvijezda se kreću različitim brzinama, u zavisnosti od toga na kojoj su udaljenosti u odnosu na centar galaksije. Zbog toga je moguće uočiti dva oblaka koji leže na istom pravcu. Usljed Doppler-ovog efekta, dolazi do pomjeranja linije od 21,1 cm.

Formiranje i održavanje spiralnih krakova kod Mliječnog Puta i drugih galaksija, danas se tumači preko teorije valova gustine. Spiralni kraci se u okviru te teorije mogu posmatrati kao neki oblik stojećih valova.

Brojna istraživanja pokazuju da je naša galaksija građena iz nekoliko sistema ili populacija. Ovi sistemi se međusobno razlikuju po opštem obliku i fizičkim karakteristikama. **Ravanski sistem** ima spljošten oblik i sastoji se poglavito od vrućih divova, dugoperiodičnih cefeida, rasijanih skupova, difuzne materije i većeg broja običnih zvijezda kakvo je naše Sunce. Ovaj sistem ima spiralnu strukturu.

Sforni sistem grade kratkoperiodične cefeide i kuglasti skupovi.

Zvijezde jednog sistema se mogu sresti u drugom i obratno. Često se objekti ravanskog sistema nazivaju **populacija I**. Sforni sistem se pak definiše kao **populacija II**. U središnjem dijelu Mliječnog Puta, koji nazivamo ispučenje, mogu se sresti objekti obje pomenute populacije.

Središte naše galaksije leži na udaljenosti od oko 8,5 kpc ili oko 28 000 svjetlosnih godina. Ono se nalazi tačno na pravcu ka sazviježđu Strijelac. Oblaci tamne materije skrivaju ovo jezgro tako da vidljiva svjetlost ne može prodrijeti kroz njih. Posmatranjima u drugim oblastima elektromagnetskog spektra, moguće je doći do nekih saznanja o središnjim zonama naše galaksije. Tako je rentgenski satelit "Albert Einstein" otkrio više izvora rentgenskih zraka. Najintenzivnije zračenje dolazi iz jedne oblasti prečnika oko 300 svjetlosnih godina. Ono bi moglo poticati ili od veoma vrućeg plina u toj zoni, ili, od vrlo brzih elektrona. Pored ovog opšteg rentgenskog zračenja, postoje i diskretni, tačkasti izvori. To bi mogle

biti rentgenske dvojne zvijezde ili ostaci eksplozija supernovih zvijezda.

Najintenzivnije rentgensko zračenje dolazi iz jedne tačke koja bi trebala da bude podudarna sa centrom Mliječnog Puta. Iz tog područja dolazi i snažno gama zračenje čije fluktuacije ukazuju da dimenzije izvora zračenja ne bi trebale biti veće od dimenzija Sunčevog sistema. Znači, izvor bi bio relativno kompaktan. Među prvim radio izvorima na nebu otkriven je i "Sagittarius A". Detaljna ispitivanja ovog izvora dovela su do otkrića "fine" strukture zapadnog dijela izvora poznatog kao "Sagittarius A West". Vrući plin na tom mjestu ima spiralnu strukturu. U samom jezgru se očigledno dešavaju procesi izbacivanja velikih količina vrućih plinova, odašiljanja super brzih elektrona koji se kreću relativističkim brzinama i emitovanja zračenja visokih energija.

Infracrvena svjetlost, zbog većih valnih dužina može da prođe kroz oblake tamne materije i da nam omogući pogled na neke detalje središta Mliječnog Puta. Otkriven je veći broj infracrvenih izvora. Neki od njih su superdivovske crvene zvijezde. Jedna od njih je 100 000 puta sjajnija od Sunca. Drugi izvori su H II oblasti (ionizirani vodik). Vruće zvijezde koje se nalaze u središtima tih oblaka odašilju snažna zračenja. Oblaci materije je upijaju i šalju van u vidu infracrvenih valova.

Infracrveni izvor označen kao IRS 16 ubraja se u one na koje se obraća posebna pažnja. Po svom položaju, on se podudara sa radio izvorom "Sagittarius A West". Snažan je, kompaktan i, po svemu sudeći, podudara se sa pravim jezgrom Mliječnog Puta. Ogromne brzine koje ima plin što se

spiralno kreće oko objekta IRS 16 ukazuju na ogromnu gravitaciju koja tu vlada. Po nekim procjenama, tu se radi o masi od oko milion sunaca. Za neke astronome to je dokaz da u jezgru leži masivna crna jama.

Novija istraživanja Sgr A, sa rezolucijom od 0,2", pokazuju da je on okružen sa četiri divovska oblaka plazme. Svaki od njih je manji od 1700 astronomskih jedinica. Ovi oblaci bi mogli biti izbačeni iz akrecionog diska koji se eventualno nalazi oko crne jame na mjestu izvora Sgr A.

Mliječni Put rotira oko ose koja prolazi kroz njegove središnje zone, normalno na osnovu ravan u kojoj leže spiralni kraci. U vezi problema rotacije naše galaksije pionirske radove dao je Oort u Holandiji. Za Sunce je, prema savremenim mjerenjima, utvrđena orbitalna brzina od 230 kms⁻¹. To odgovara periodu obilaska oko centra galaksije za 190 miliona godina. Pravac kretanja Sunca je, u okviru njegove galaktičke revolucije, ka jednoj tački u Cefeju. Inače, oko središta se Sunce kreće gotovo kružnom orbitom.

Već smo pominjali da se Mliječni Put ne sastoji samo od pojedinačnih zvijezda. Između njih, raspoređena je međuzvezdana materija u vidu tamnih i svijetlih maglina. Zvijezde se pak organizuju i u vidu skupova kakvi su kuglasti i otvoreni.

ZVJEZDANI SKUPOVI

Zvezdani skupovi predstavljaju gravitacijom povezane grupe zvijezda. Smatra se da su se one formirale istovremeno u jednom oblaku materije pa su zato jedna drugoj znatno bliže nego je to inače slučaj sa zvezdama

u Mliječnom putu. Zvijezde u skupovima se kreću zajedno kroz prostor. Iako su očigledno formirane od istog materijala, u približno isto vrijeme, zvijezde u skupovima mogu biti veoma različite. Razlozi leže u zvjezdanoj evoluciji koja se odvija posve različito za zvijezde različitih početnih masa. U Mliječnom Putu srećemo dvije osnovne vrste skupova. To su **otvoreni** ili **rasijani skupovi** i **zatvoreni** ili **kuglasti skupovi**.

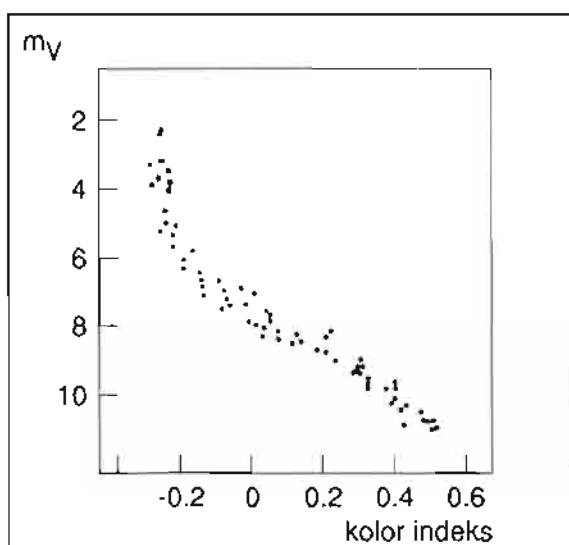
Već golim okom možemo zapaziti neke od **rasijanih skupova**. Plejade ili Vlašići su karakterističan primjer. Ovaj skup, čijih sedam zvijezda vidimo golim okom, nalazi se na udaljenosti od oko 410 svjetlosnih godina. Druga čuvena grupa su Hijade u sazvežđu Bika. Oko 400 zvijezda koje ga sačinjavaju udaljene su 133 svjetlosne godine od nas.

Rasijani zvjezdani skupovi sastoje se, obično, od nekoliko stotina zvijezda. Ovi skupovi nemaju neki određen oblik, već se tu radi o hrpi zvijezda skupljenih na jednom malom djelu neba. Za rasijane skupove je karakteristično da se najvećim dijelom sastoje od bijelih i plavih zvijezda divova.

Žuti i crveni divovi sreću se veoma rijetko, a postojanje crvenih i žutih superdivova, uopšte nije opaženo. Za sve ove skupove od velikog značaja je postavljanje dijagrama "prividni sjaj - kolor indeks". Obično su zvijezde raspoređene u jednom nizu.

Rasijani skupovi raspoređeni su, uglavnom, u oblasti galaktičkog ekvatora. Broj ovih skupova mora da je velik, ali moguće je posmatrati samo one bliže. Udaljenost rasijanih skupova određuje se na više načina. Jedan od metoda baziran je na mjerenju

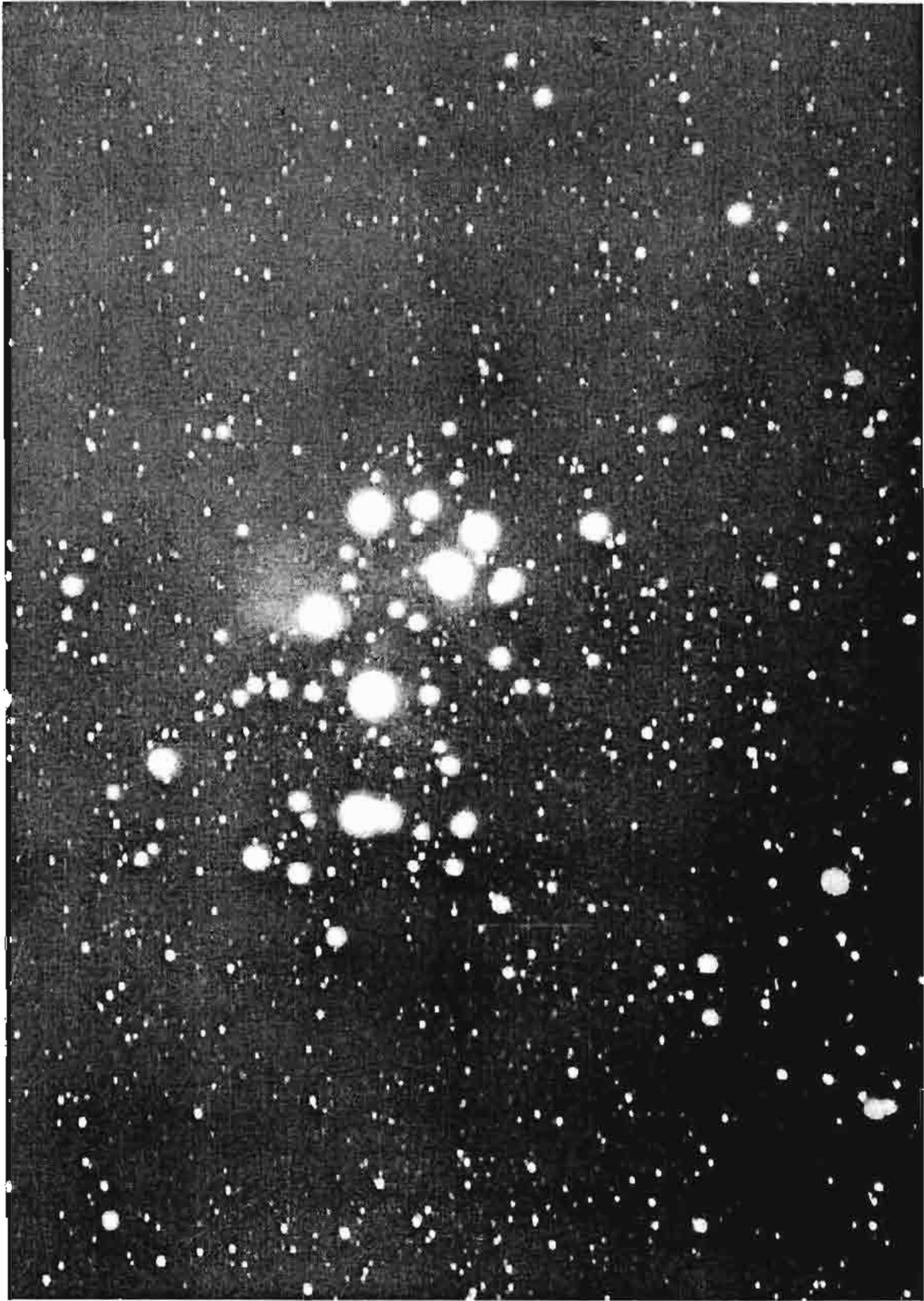
ugaonih dijametara skupova. Postoji pretpostavka, koja je prilično osnovana, da rasijani skupovi iste vrste (približno istog broja zvijezda, istog stepena koncentracije zvijezda i još nekih zajedničkih osobina) imaju približno jednake istinske dijemetre. Kada se kod bližih skupova, nekom drugom metodom, odredi udaljenost, onda se ona može naći i kod veoma dalekih skupova, ukoliko je poznato kakvoj vrsti pripadaju.



SI.237 Dijagram prividni sjaj - kolor indeks za Plejade.

Prečnici rasijanih skupova kreću se u intervalima od 1,5 do 20 pc, a gustina im ide od jedne do osamdeset zvijezda na kubni parsek.

Posebnu vrstu galaktičkih skupova rasijanog tipa pretstavljaju **zvjezdane asocijacije**. Ambarcumijan je ustanovio da sjajne zvijezde visokih temperatura, spektralnih klasa O, OB, B1 i B2 imaju tendenciju da se raspoređuju na nebu u posebnim zgušnjeljima. Obično se u jednom takvom zvjezdanom gnijezdu nalazi po nekoliko desetina vrućih divovskih zvijezda. On je ovakve skupove nazvao **O - asocijacijama**. Zvijezde koje grade ove skupove postepeno se



Sl. 238 Rasijani zvjezdani skup Plejade ili M45 u sazviježđu Bika. To je relativno mlad zvjezdani skup čije su zvijezde omotane difuznom materijom. Sve ove zvijezde rođene su zajedno. (Fotografija Astronomske opservatorije u Sarajevu. Snimanje je obavljeno dvostrukim astrografom na staklenu ploču sa emulzijom Kodak 103-aE osjetljivom na crveni dio spektra. Ekspozicija je iznosila 12 minuta. Snimio: Muhamed Muminović).



Sl. 239 Rasijani zvjezdani skupovi M 46 i M 47 u sazviježđu Pupis.
(Snimak M.Muminović, *Astronomska opservatorija, Sarajevo*).

udaljuju jedna od drugih i one se vremenom raspadaju. Činjenica da se u asocijacijama pojavljuju zvijezde divovi visokih temperatura, i da se relativno brzo udaljuju jedna od druge, dovela je do pretpostavke da su se one

formirale ne tako davno. Drugim riječima, radi se o mladim zvijezdama. Vrijeme potrebno da se zvijezde iz centra jedne asocijacije udalje na današnje rastojanje, od tog istog središta, obično nije veće od milion godina. To

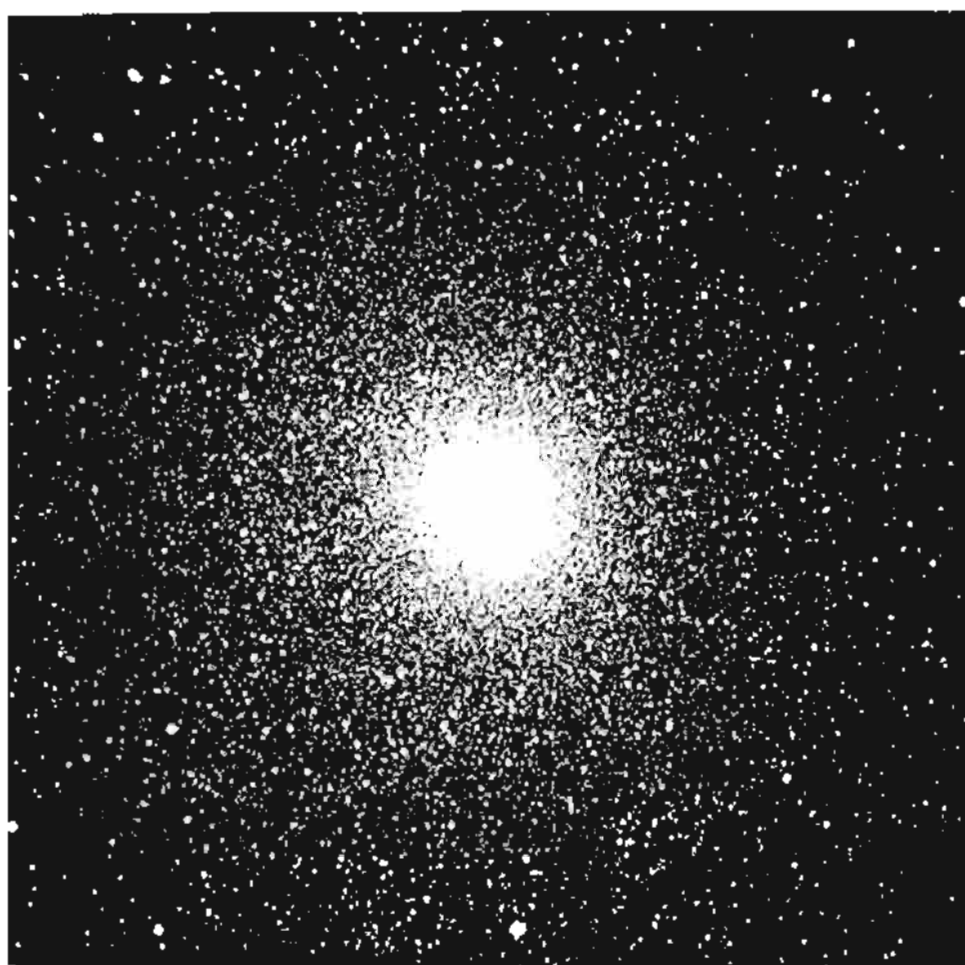
ujedno znači da bi tolika trebala iznositi njihova starost.

Pored O-asocijacija postoje i **T-asocijacije**. Njih grade zvijezde tipa T Tauri koje spadaju u promjenljive. Zbog slabog sjaj ovakvih zvijezda moguće je posmatrati samo Suncu bliske T-asocijacije. One se inače povezuju sa protozvjezdama, tj. predstavljaju veoma mlade i nestabilne objekte.

Kuglasti skupovi predstavljaju znatno veće galaktičke koncentracije zvijezda. U malim teleskopima lako ih zapažamo kao maglovite mrlje pravilnog kružnog oblika. Pomoću većih teleskopa, a posebno uz primjenu fotografije ili CCD, lako se ustanovljava da se kuglasti skupovi sastoje iz ogromnog broja pojedinačnih zvijezda.

Pri tome je na zvijezde moguće rastaviti samo vanjske dijelove ovakvih skupova. Teleskopi nove generacije i primjena CCD sistema, omogućava razdvajanje i središnjih zona kuglastih skupova.

U prosjeku, dijometri ovih zvjezdanih koncentracija kreću se oko 40 parseka. Sveukupnost kuglastih skupova formira sferični "halo" čije se središte poklapa sa središtem Mliječnog puta. Kuglasti skupovi su veoma daleki objekti. Do najsajnijeg takvog zvjezdanog zgušnjenja koje se vidi sa sjevernog neba (skup M13 u Herkulu) putovali bi smo brzinom svjetlosti oko 30 000 godina. Zvezdani sastav kuglastih skupova suštinski se razlikuje od sastava rasijanih skupova. U ovim zvjezdanim koncentracijama ima



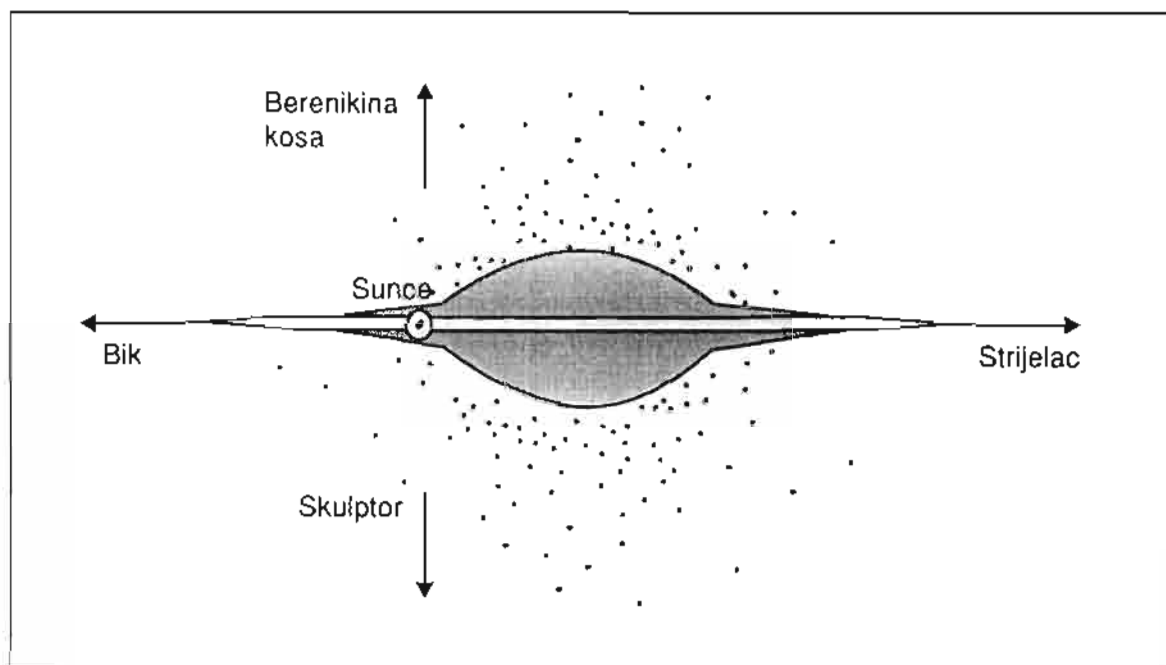
Sl. 240 Kuglasti skup M 13 u sazviježđu Herkula koji je vidljiv i najmanjim teleskopom. Snimak Hale observatories.

mnog crvenih i žutih divova, kao i superdivova ovih spektralnih tipova. Bijelih i plavih divova ima znatno manje, a plavi i bijeli superdivovi se uopšte ne sreću. Kuglasti skupovi sadrže i mnogo promjenljivih zvijezda, dok plinova i prašine, koji su karakteristični za većinu rasijanih skupova, ovdje praktično i nema.

Do danas je poznato 119 kuglastih skupova u Mliječnom putu. Ispitivanje rasporeda skupova dovelo je do otkrića položaja u kome se nalazi centar naše galaksije. Već pomenuta simetričnost sveukupnog sistema kuglastih skupova, u odnosu na najgušće zone Mliječnog puta, vodila je zaključku da se tu nalazi i središte. Ovakvo razmatranje proveo je **H. Shapley** i time dokazao da se Sunce ne nalazi u središtu galaksije, već da zauzima položaj koji ga ni po čemu ne razlikuje od milijardi zvijezda koje grade veliki spiralni točak Mliječnog puta. Time je srušen još jedan san o izuzetnosti Sunca, planete Zemlje i našeg planetškog sistema.

O starosti zvjezdanih skupova može se relativno jednostavno suditi na osnovu njihovih H-R dijagrama. Ako na jedan isti grafik ucrtamo pojedinačne H-R diagrame za razne skupove, doći ćemo do zanimljivih rezultata. Vidljivo je da postoji tendencija da se na nekoj tački, smještenoj na glavnom nizu za svaki od skupova, udesno granaju pojedini grafici svakog od skupova.

Ova tačka grananja je mjera starosti nekog zvjezdanog skupa. Masivne zvijezde kod starijih skupova imale su dovoljno vremena da evoluiraju, pa zato skupovi koji su stariji imaju tačku grananja smještenu niže na liniji glavnog niza. Sa slike 242 je vidljivo da je najmlađi od prikazanih skupova skup NGC 2362. Plejade su sredovječne, a rasijana hrpa sunaca M67 u Raku je najstariji i rođen je prije nekih 7 milijardi godina. M3 je jedini kuglasti skup na ovom grafiku i on je izuzetno star što je inače karakteristično za kuglaste skupove koji predstavljaju najstarije uređene sisteme u galaksiji.

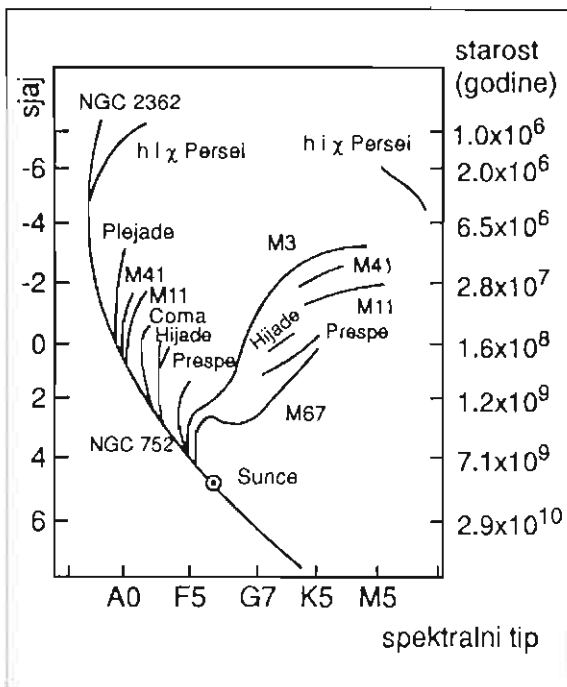


SI.241 Shematski prikaz Mliječnog Puta gledanog sa boka. Dat je i položaj Sunca. Krupnije tačke koje okružuju galaksiju su kuglasti skupovi.

MEĐUZVJEZDANA MATERIJA

Ogromne količine plinova i prašine nalaze se u spiralnim kracima galaksije, između zvijezda. Većinom se radi o plinovima, uglavnom vodik i helij. Zrnca prašine se sreću u mnogo manjoj količini od svega 2%. Njihovo prisustvo se posredno utvrđuje na osnovu polarizacije svjetlosti zvijezda. Naime, zrnca sa primjesama željeza, raspoređuju se u smjeru silnica magnetskog polja Mliječnog Puta. Ta linearna polarizacija svjetlosti kreće se od 1-10% pri čemu u istom smislu raste i gustina tih čvrstih čestica.

Ovaj materijal upija zvjezdanu svjetlost, oslabljuje ju i čini crvenijom. Veličina ove apsorpcije se može mjeriti



Sl.242 Zajednički H-R diagram više zvjezdanih skupova pokazuje kako evolucijski efekti zavise od starosti skupa.

preko kolor indeksa zvijezda koje leže iza tih područja. Pri tome postoji razlika u veličini kolor indeksa mjenjenog direktno i onog dobijenog na osnovu spektralne analize.

Inače, postojanje međuzvjezdane materije je najprije bilo utvrđeno spektroskopskim posmatranjima (**Johannes Hartmann, 1904.**). On je otkrio da se kod spektroskopskih dvojnih zvijezda u nekim slučajevima pojavljuju apsorpcijske linije ioniziranog kalcija. One ne učestvuju u pomjeranju ostalih spektralnih linija koje izaziva kretanje komponenti dvojnog sistema oko zajedničkog težišta. To znači da se taj kalcij nalazi između nas i zvijezda. Takođe, kod usamljenih zvijezda spektralnih tipova O i B zapažaju se linije kalcija koje, prema teoriji ionizacije, kod zvijezda ovog tipa ne bi smjele da postoje.

Posebno je bilo zanimljivo opažanje **međuzvjezdanih molekula**. Tokom posljednjih decenija otkriven je veći broj tih molekula. Među prvima je opažen metiladin (CH). Zatim se otkrivaju hidroksil (OH), amonijak (NH_3) i vodena para (H_2O). U toku 1969. godine otkriven je formaldehid (HCOH) prvi u nizu organskih spojeva. Do danas je otkriveno preko 40 međuzvjezdanih molekula od kojih je većina organskih. Među njima su i metil alkohol (CH_3OH) i etil alkohol ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$).

Na nekim mjestima, oblaci međuzvjezdane materije prolaze kroz galaktičke valove gustine i sabijaju se. Time se ostvaruju preduslovi za stvaranje gušćih oblaka koji pak postaju u daljem procesu mjesta gdje se rađaju mlade zvijezde. Ovakvih mjesta ima mnogo u spiralnim krakovima Mliječnog Puta.



Sl. 243 Molekularni oblak u južnom sazviježđu Norma. O njegovoj gustini svjedoči gotovo potpuna apsorpcija zvjezdane svjetlosti. U oblaku su nađena dva Herbig-Haro objekta od kojih je HH57 imao erupciju prije desetak godina. Ovo je jedno od mjesta gdje se radaju zvijezde. Posmatranja u oblasti milimetarskih valova pokazuju postojanje bipolarnog strujanja materijala što je inače karakteristično za protozvezdane objekte.

Tamne magline

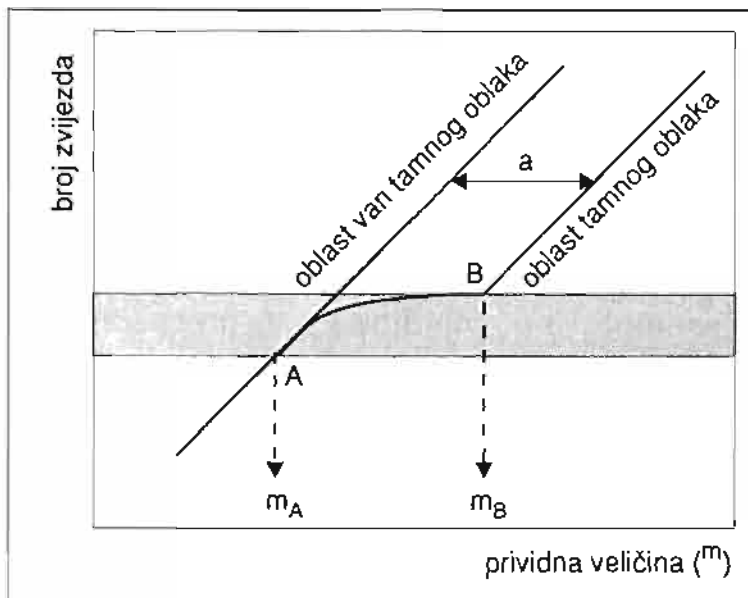
Oblaci tamne materije se mogu opaziti na raznim područjima neba, posebno tamo gdje se nalaze guste nakupine zvijezda. Jedna od metoda za približno određivanje njihovih udaljenosti zasniva se na računanju broja zvijezda, određenog intervala prividnih veličina koji otpada na jedan kvadratni stepen (ili neku drugu kutnu mjeru), u tamnom oblaku i u susjednim oblastima van njega. Razmatranje se vrši preko **Wolf-ovog dijagrama** (sl. 244).

Na slici je prikazan grafik koji prikazuje vezu između prividne veličine zvijezda i njihovog broja. Veza je prikazana shematski jer u stvarnosti, zbog nelinearnosti ovog odnosa, oblik linijaato se u razmatranju pođe od toga da se, na primjer, nađe na kojoj bi se udaljenosti mogla nalaziti većina zvijezda da bi im prividni sjaj bio 8-e veličine. Pokazuje se da je ta udaljenost oko 125 pc. Ako se pretpostavi da je veličina apsorbcije za taj oblak takva da se upija jedna zvjezdana veličina, onda se brojanjem zvijezda u toj oblasti dolazi do slijedećeg zaključka. Broj zvijezda 8-e veličine u

nezatamnjenoj oblasti približno je jednak broju zvijezda 9-e veličine u oblasti tamnog oblaka. To je zato što prividni sjaj zvijezde 8-e veličine opada do 9-e veličine. Kada ne bi bilo oblaka, broj zvijezda određene veličine bio bi na jednoj užoj zoni u prosjeku jednak na svakoj od mjerenih površina. Zvijezde 7-e veličine ne uzimamo u obzir jer smo na početku pretpostavili da je oblak udaljen 125 pc, a većina zvijezda sa tim sjajem se nalazi ispred oblaka.

Broj zvijezda 10-e veličine, u tamnom oblaku, bio bi jednak broju zvijezda 9-e veličine u zoni van tamnog oblaka. Znači, u ovom slučaju se maglina nalazi na udaljenosti od 125 pc. Veličina apsorbcije nije uvijek ista i mjeri se spektralnim putem. Naš primjer se odnosi na slučaj kada je opažena apsorbcija zvijezda 8-e veličine kao prva u nizu. Ukoliko se prva apsorbcija utvrdi za zvijezde nekog drugog sjaja, onda se na sličan način, teorijski, dolazi do udaljenosti na kojoj bi se mogla nalaziti većina zvijezda te prividne veličine.

Tamne magline se sreću u oblastima Mliječnog Puta, zajedno sa svijetlim difuznim maglinama.



Sl.244 Wolf-ov dijagram za udaljenosti tamnih maglina

Svijetle difuzne magline

Naša galaksija, a većina drugih, sadrži i brojne svijetle oblake materije različitih oblika. Nazivamo ih svijetlim difuznim maglinama. Golim okom možemo nazrijeti jednu od najpoznatijih takvih maglina, Veliku maglinu u Orionu. Ona je udaljena oko 1000 svjetlosnih godina i ima prečnik oko 15 svjetlosnih godina. U njenom spektru zapažaju se emisione linije vodika, helija i drugih plinova. Ova maglina je povezana sa vrućim zvijezdama spektralnih tipova O, B0 i B1. To je istovremeno i jedno od mjesta gdje se rađaju mlade zvijezde. Hubbleov svemirski teleskop otkrio je na stotine protoplanetarnih oblačića u zoni ove magline. Ti oblačići predstavljaju potencijalno, nove planetske sisteme kojima treba vremena da se formiraju.

Atomi materije od koje su sastavljene difuzne magline upijaju moćno ultraljubičasto zračenje susjednih zvijezda, a zatim ga ponovo zrače na drugim valnim dužinama. Zbog toga ove magline nazivamo i **emisionim maglinama**.

Pojedine svijetle difuzne magline emitiraju apsorbirane spektre koji su identični spektrima zvijezda u njihovoj blizini. To nas navodi na zaključak da one svijetle odbijenom svjetlošću koju šalju te zvijezde. Ovakve magline nazivamo **refleksivnim maglinama**. Tipičan primjer ovakvih oblaka su magline koje omotavaju pojedine zvijezde iz poznatog rasijanog skupa zvijezda nazvanog Plejade. Ove magline se lako primjećuju na fotografijama. Mase svijetlih maglina se kreću od jedne desetine mase našeg Sunca, pa do stotinjak sunčevih masa.

Planetarne magline

Još jedan tip svijetlih maglina može privući našu pažnju. Radi se o planetarnim maglinama. Svoj naziv su dobile zbog sličnosti sa nekim planetama. Većina ovih maglina u manjim teleskopima izgleda poput planeta kao što su Uran i Neptun, pa je to navelo rane posmatrače da njihove diskove zelenkaste boje poistovjete u nazivu sa planetima. Danas je poznato preko 500 planetarnih maglina u Mliječnom Putu. Mnoge od njih vidimo u obliku prstenova. Tako je jedan od najčuvanijih objekata ovog tipa prstenasta maglina u Liri (M57).

Zelenkasta boja ovih maglina potiče od zelenih linija ioniziranog kisika sa valnim duljinama 496 i 500 nm. U središtu većine planetarnih maglina opažamo zvijezdu slabog sjaja. Pokazalo se da te središnje zvijezde imaju izuzetno visoke površinske temperature od 50 000 do 100 000 C. Zvijezde najveći dio svoje energije isijavaju u ultraljubičastom dijelu spektra pa nam zato u vidljivoj oblasti izgledaju slabe. Plinovi i čestice koje grade maglinu upijaju to zračenje i odašilju ga u području vidljivog dijela spektra. Zbog toga opšti, integralni sjaj magline je, naizgled, veći od sjaja centralne zvijezde. Snimci pojedinih maglina ove vrste pokazuju kompleksnu, često vlaknastu strukturu. Radi se očigledno o burnim kretanjima materije koja je izbačena eksplozivnim procesom od strane središnje zvijezde.

Planetarne magline imaju veoma prozračnu materiju pa se tako kroz maglinu NGC 7293 u Vodoliji mogu vidjeti daleke galaksije. Maglinski materijal se širi brzinama od 10 do 50



Sl. 245 Tamna maglina "Konjska Glava" u Orionu smještena je na pozadini kompleksa svijetlih difuznih maglina što se često sreće na nebu.. Snimak Hale observatorije (USA)

kms⁻¹. To je utvrđeno spektralnom analizom jer su im linije rascijepjene. Nama okrenuti dio magline ima linije koje su pomjerene ka ljubičastom kraju, a onaj suprotni dio ima linije koje su pomaknute ka crvenom kraju spektra. Slaganjem ova dva spektra koje je moguće zbog prozračnosti materijala dobijamo spektar sa rascjepjenim linijama.

Ostaci supernovih

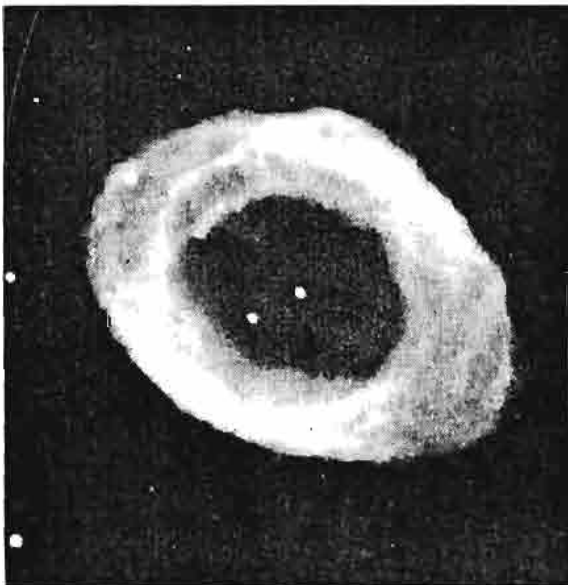
Postoji još jedan, poseban tip galaktičkih maglina. To su ostaci eksplozija supernovih zvijezda. Za savremenu astronomiju poseban značaj ima jedan od ovih objekata koji je smješten u sazviježđu Bik. Nazvan je maglina Rakovica ili Krab maglina.

U Messier-ovom katalogu ova maglina nosi oznaku M1 ili NGC 1952. Rakovica je prvi optički identificirani radio izvor u našoj galaksiji. Ona je, također, i prvi izvor rentgenskih zračenja koji je otkriven van Sunčevog sistema. U njoj je opažen i prvi optički identificirani pulsar - neutronska zvijezda.

Ova maglina je ostatak eksplozije supernove koja se desila 1054. godine. Materija od koje je građena širi se sa brzinama od 200 do 1200 kms⁻¹. Udaljena je oko 4000 svjetlosnih godina. Spektar joj liči na spektre planetarnih maglina. U njemu se opažaju emisije linije ioniziranog kisika, dušika i drugih elemenata. Pored ovog tipa spektra, Krab magli-



Sl. 246 Velika maglina u sazviježđu Orion



Sl. 247 Planetarna maglina M57 u saz-viježđu Lire ili Prstenasta maglina u Liri

na zrači i kontinuirani spektar. Najveći dio od ukupnog zračenja ove magline pripisuje se njemu. Snimanjima magline kroz monohromatske filtere, posebno u liniji vodika H alfa, dobijeni su interesantni rezultati. Veliki broj sjajnih vlakana pojavljuje se na takvim snimcima i ona su izvori emisionog spektra.

Pojavu kontinuiranog spektra prvi je objasnio Šklovski. On je pretpostavio da se radi o **sinhrotronskom zračenju**. Njega isijavaju relativistički elektroni (elektroni koji se kreću brzinama bliskim brzini svjetlosti) i to kada se kreću u snažnim magnetnim

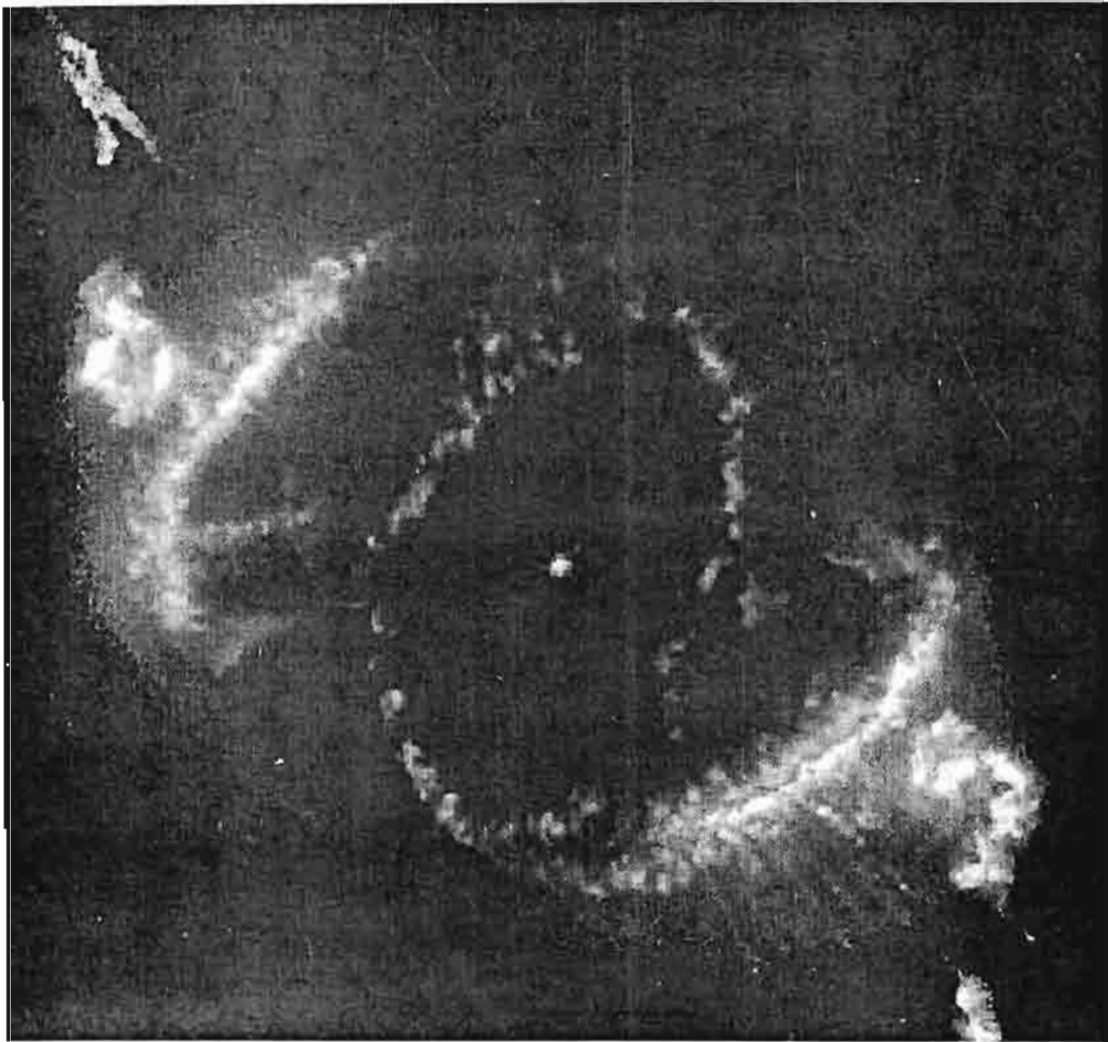


Sl. 248 Galaktička maglina "Laguna" nalazi se u sazviježdu Strijelac.

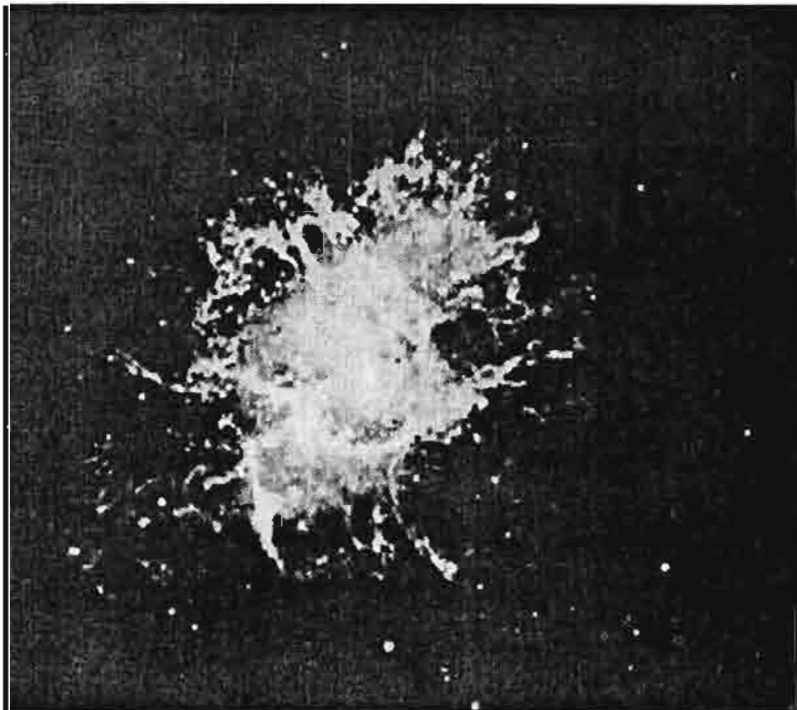
poljima. Pri tome im putanja ima oblik zavojnice i elektroni tom prilikom emitiraju svjetlost. Ova svjetlost je u velikoj mjeri polarizirana i električni vektor, pomoću koga se vrši razmatranje prostiranja svjetlosti, oscilira u ravni normalnoj na pravac magnetnih silnica. Valne duljine tih zračenja su u funkciji brzina elektrona. Tako najbrži elektroni emitiraju rentgensko i gama zračenje, a oni sporiji su odgovorni za radio valove.

Osnovni izvor svih pojava u ovoj maglini je pulsar odnosno neutronska

zvijezda, smještena u njenom središtu. On predstavlja ostatak zvijezde koja je eksplodirala. Pri tome je došlo do kolapsa zvjezdane materije i stvaranja malog zgusnutog objekta. Prema jednoj analizi, zvijezda koja je eksplodirala kao supernova je bila 8 puta masivnija od Sunca. Polovina njene mase je nakon eksplozije ostala u tim vlaknima i centralnoj neutronskej zvijezdi, a četiri solarne mase su rasijane u veliki halo oko Krab magline. Taj oblak materije je sada već suviše slabog sjaja da bi se mogao opaziti.



Sl. 249 Maglina NGC 6543 zvana "Mačje oko" smještena je u sazviježđu Zmaja. Snimak je načinjen kamerom Hubble-ovog svemirskog teleskopa.



Sl. 250 Krab maglina (Rakovica) u sazviježđu Bika je ostatak eksplozije supernove zvijezde koja se desila 1054. godine i zabilježena u starim kineskim hronikama.

6. VANGALAKTIČKA ASTRONOMIJA

Uvod

Već prva pomnija posmatranja neba pomoću teleskopa, pokazala su da postoji veći broj objekata koji liče na maglovite mrlje i imaju različite oblike i prividne prečnike. Veći teleskopi su otkrivali još više ovakvih mrljica svjetlosti, pa je to navelo neke astronome da načine prve popise u kojima su dali njihove koordinate i opise. To je bilo posebno značajno za one astronome koji su se bavili potragom za novim kometama jer su pomenute mrlje unosile konfuziju zbog sličnosti slabih kometa sa njima. Zato je 1784. godine, **Charles Messier** napravio svoj popis magličastih objekata koji je poznat kao **Messier-ov katalog**. On je sadržao 108 magličastih objekata, koliko ih je, svojim malim teleskopom, mogao opaziti ovaj francuski astronom. Svaki od objekata njegovog kataloga po njemu je dobio oznaku **M** i neki od rednih brojeva. Np. **M31** je oznaka za Veliku maglinu u Andromedi. Danas ovaj katalog ima samo historijsku vrijednost (u pogledu opisa

i podataka) ali se oznake još uvijek koriste.

Prava priroda opaženih maglina u to doba nije bila poznata. Kasnija posmatranja kvalitetnijim instrumentima pokazala su da dio objekata predstavlja, u stvari, rasijane i kuglaste skupove zvijezda u našoj galaksiji. Za drugi dio je ustanovljeno da se radi o galaktičkim maglinama, difuznim ili planetarnim. Treća i posljednja grupa objekata iz Messier-ovog kataloga, ostala je magličasta i u najvećim teleskopima, a spektralna posmatranja su pokazala da se ne radi o plinovitim maglinama kakve srećemo u Mliječnom Putu. Takođe je uočeno da mnoge od ovih maglina imaju karakterističnu spiralnu strukturu.

Sa razvojem astronomskih tehnika, rastao je broj otkrivenih maglina na nebu bilo da se radilo o onim galaktičkim ili ovim drugima, za koje će se kasnije utvrditi da su vangalaktičke. Zbog toga se javila potreba za novim, preciznijim i opsežnijim katalogom. **J. Dreyer**, 1888. godine, izdaje svoj **New**

General Catalogue (NGC) ili u prevodu, Novi opći katalog maglina. On sadrži 7840 objekata, a date su tačne koordinate i opisi od strane više posmatrača. Kasnije, 1895. i 1910. godine, pojavile su se dopune ovog kataloga u vidu **Index Catalogue (IC)**. Sve u svemu, NGC i dva IC kataloga sadrže 13 226 objekata.

Prethodno pomenuta maglina M31, u ovom katalogu ima oznaku NGC 224. Obzirom na niz nepreciznosti i netačnosti, ovaj katalog je kasnije nekoliko puta bio prepravlján i tako revidiran, koristi se i danas.

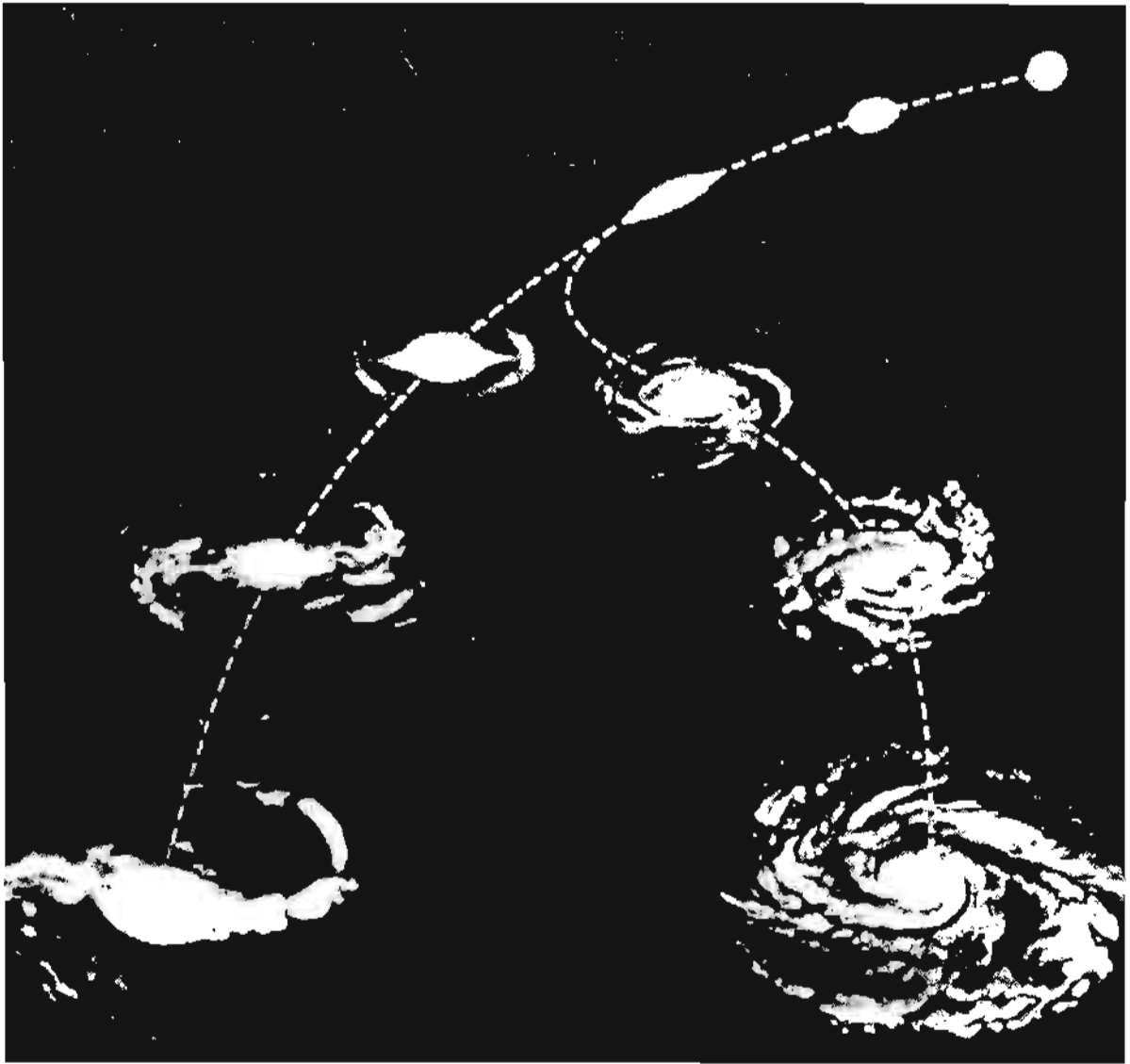
Razvoj astronomije tridesetih godina doveo je do potrebe za novim katalogima. Tako su **Shapley i Ames** 1932. godine sastavili listu od 1259 sjajnih maglina (galaksija). Od novijih ostvarenja, koja uključuju samo galaksije, značajni su Zwicky-ev **Catalogue of Galaxies and Clusters of Galaxies**, te **Morphological Catalogue of Galaxies** od Voroncov-Veljaminova i Arhipove.

U drugoj deceniji dvadesetog stoljeća kulminirao je problem prirode dijela maglovitih objekata koji nisu mogli biti identificirani. Osnovno je pitanje bilo da li se radi o galaktičkim ili vangalaktičkim objektima. **Ritchey i Curtis** su 1917. godine opazili izvjestan broj sjajnijih tačkica u Velikoj maglini u Andromedi koje su se povremeno pojavljivale i nestajale. Oni su pravilno pretpostavili da se radi o ekspozijama novih zvijezda kakve se dešavaju i u našoj galaksiji. U vrijeme maksimuma, nove opažane u Mliječnom Putu, imaju apsolutni sjaj od oko -7^m . Uzevši pretpostavku da to važi i za nove zvijezde u Andromedinoj maglini, oni su došli do zaključka da bi taj objekat morao biti van granica našeg zvjezdanog sistema.

Ovo otkriće nije bilo dovoljno jak dokaz u prvo vrijeme. Međutim, novi je stigao stupanjem u pogon novog teleskopa prečnika 2,5 metra na opservatoriji Mont Wilson, tada najvećem na svijetu. **Edwin Hubble**, jedan od najvećih astronoma našeg stoljeća, primjenio je duge ekspozicije snimajući karakove magline u Andromedi. Pokazalo se da se njeni spiralni kraci sastoje od milijardi zvijezda slabog sjaja koje se, zbog ogromne udaljenosti magline, nisu mogle posmatrati razdvojeno manjim teleskopima. Ova snimanja su obavljena u periodu između 1924. i 1926. godine. Na snimcima je otkriven i veći broj promjenljivih zvijezda, među njima i cefeida. Ovo je omogućilo da se izmjeri udaljenost ove, a kasnije i drugih bližih vangalaktičkih maglina koje ćemo od sada zvati njihovim pravim imenom - galaksije. Istim teleskopom, primjenjujući poboljšanu tehniku i kvalitetnije fotografske materijale, **Baade** 1944. godine uspijeva da "razbije" na pojedine zvijezde i centralne oblasti galaksije M 31. Stupanjem u pogon teleskopa prečnika 5 metara na opservatoriji Mount Palomar (1948. godina) ovakvo razlaganje bližih galaksija na pojedinačne zvijezde, postalo je rutinski posao. U naše vrijeme, to se radi i manjim teleskopima uz pomoć video čipova (CCD tehnike). Također, lansiranjem Hubble-ovog svemirskog teleskopa, mogućnosti za ovakav rad su još veće.

VRSTE GALAKSIJA

Najranija posmatranja su pokazala da se galaksije pojavljuju u nekoliko karakterističnih oblika. To je izazvalo potrebu da se napravi neka klasi-



Sl. 251 Klasifikacija galaksija po Hubble-u. U gornjem nizu su eliptične galaksije, a druge dvije grane predstavljaju glavne grupe spiralnih sistema.

fikacija ovih objekata. Najpoznatija, i jedna od prvih, pripada Hubble-u. Za sve klasifikacije koje su nastale u doba klasične astronomije bitno je reći da su bile morfološke. To znači da su isključivo polazile od oblika u kakvom se neka galaksija prikazuje. Savremene klasifikacije vode računa i o određenim astrofizičkim osobenostima ovih svemirskih otoka. Hubble-ovom klasifikacijom ovi objekti svrstani su u nekoliko grupa. Ova Hubble-ova podjela je ranije, pogrešno, posmatrana i kao evoluciona. Danas se zna da su galaksije nastale na različite načine.

Spiralne galaksije

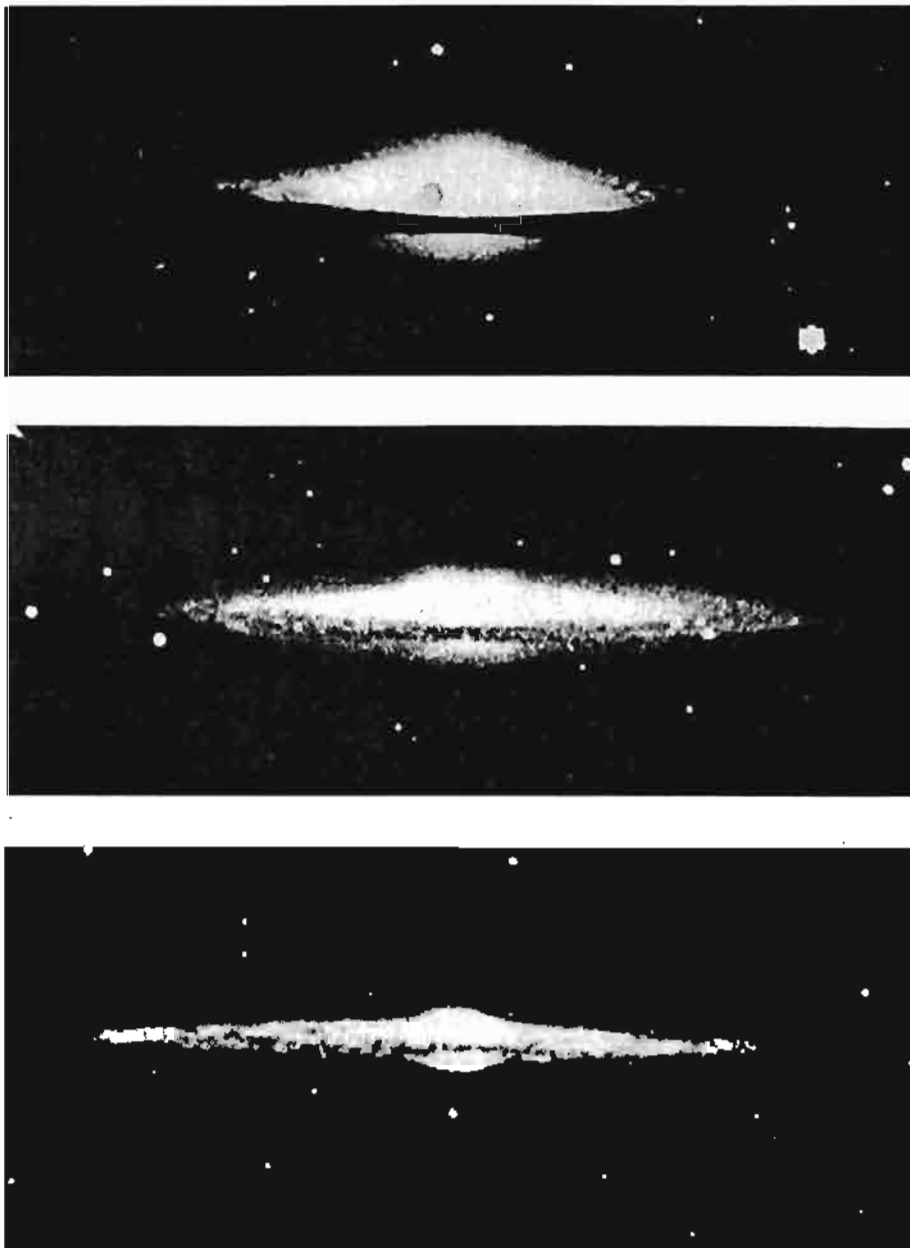
Većina galaksija koje srećemo na nebu ulazi u grupu spiralnih sistema. Po vanjskom obliku to su sigurno najimpozantniji i najslikovitiji objekti u svemiru. Njihov izgled odaje izuzetnu dinamičnost. Obično ih srećemo u vidu sjajnog jezgra iz koga izvire spiralni kraci koji su namotani ili razmotani. Oblik u kome se na nebu prikazuju u velikoj mjeri zavisi od položaja koji zauzimaju prema nama. Isključivši faktor prostorne orijentacije, bilo je moguće klasificirati spiralne galaksije i to uglavnom prema stupnju razvi-

jenosti spiralnih krakova i prečnicima njihovih jezgri.

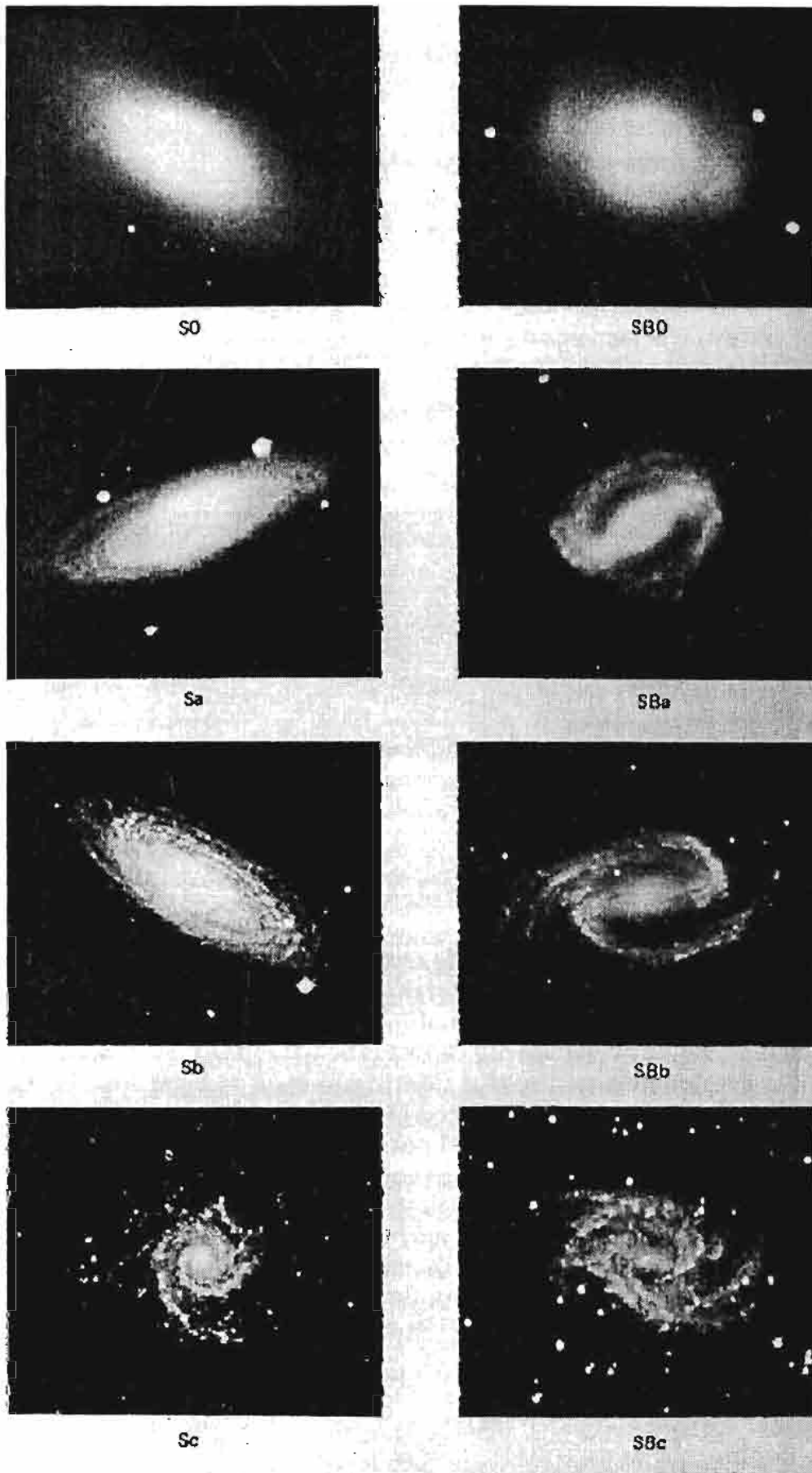
Po Hubble-u, spiralne galaksije tip **Sa** su one kod kojih su kraci slabo razvijeni, a u nekim slučajevima se tek naziru. Za ovakve sisteme je karakteristično da im razmjeri jezgra zauzimaju oko 50% dimenzija čitave galaksije. Obično su, kod većine spiralnih galaksija, prisutna dva osnovna kraka koji izviru iz dvije dijametralno suprotne

tačke jezgra. Pojavljuju se vrlo često i galaksije sa većim brojem krakova. Kod spiralnih sistema tip **Sb** kraci su primjetno razvijeni, a jezgra su manja nego kod sistema prethodno opisanog tipa. Nama bliska galaksija M31 u Andromedi spada u ovu vrstu. Pretpostavlja se da bi i Mliječni Put bio spirala tipa **Sb**.

Bogato razvijeni spiralni kraci su osnovna karakteristika galaksija tip



Sl. 252 Tri karakteristična tipa spiralnih galaksija posmatranih bočno (sa strane). Odozgo prema dole: NGC 4594 u sazviježđu Sextant, tip Sa, NGC 5746 u sazviježđu Djevice, tip Sb i NGC 4565 u sazviježđu Berenikina Kosa, tip Sc. Snimci opservatorije Mt. Wilson.



Sl. 253 Osnovni tipovi spiralnih galaksija kada ih posmatramo u pravcu normalnom na njihovu ekvatorsku ravan (iz smjera nekog od polova galaksije).

Sc. Kada su spiralne galaksije okrenute tako da ih gledamo bočno, one tada izgledaju poput sočiva. Obavezno im se u ekvatorskoj ravni nalazi tanja ili deblja traka tamne materije. Takva materija otkrivena je i u ravni galaktičkog ekvatora Mliječnog Puta. Gledane sa strane, sve spiralne galaksije pokazuju priličan stupanj spljoštenosti. Primjećeno je da, općenito, manje spljoštene galaksije (kao što su recimo eliptične) ne mogu da razviju spiralnu strukturu. Sa stano-

višta problema evolucije galaksija, ovo je veoma bitno. Tako su neka teorijska razmatranja pokazala da manje spljoštene sistemi ne mogu prelaziti u više spljoštene i obratno. Zato je razumnije smatrati da su spiralne i eliptične galaksije nastale na različitim granama evolucije.

Postoji posebna grupa spiralnih galaksija koja se izdvaja od onih prethodno opisanih. Kod običnih spiralnih galaksija kraci izlaze direktno iz jezgra. **Prečkaste ili premoštene spiralne galaksije** imaju neku vrstu prečke sa čijih krajeva počinju dva



Sl. 254 Galaksija NGC 2997 u sazviježđu Antlia. Spirala tipa Sb i veoma slična našem Mliječnom putu.

osnovna i često jedina spiralna kraka. Označavaju se sa SB.

Eliptične galaksije

Ove galaksije se pojavljuju u obliku eliptičnih ili kružnih mrlja svjetlosti, različitog ekscentriciteta. Sjaj im opada od središta ka rubovima. Ovakve galaksije su uglavnom građene od crvenih i žutih zvijezda, kako divova, tako i patuljaka. Plavi i bijeli superdivovi, tako karakteristični za spiralne galaksije, ovdje gotovo da nisu prisutni. Takođe se ne zapažaju nikakve iole zamjetne količine difuzne materije.

Prema vanjskom obliku, eliptične galaksije se razlikuju samo po stupnju spljoštenosti, pa je to i iskorišteno za njihovu klasifikaciju. Hubble je predložio da se za stepen spljoštenosti (sl.255) iskoristi veličina:

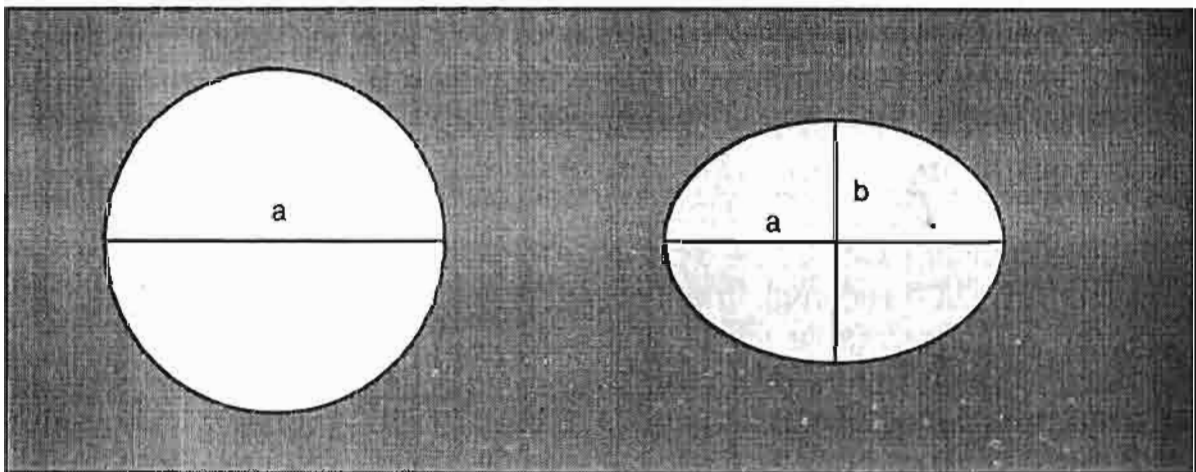
$$10 = \frac{a-b}{b}$$

gdje je a velika poluosa elipse, a b mala poluosa. U slučaju kada galaksija ima kuglast oblik, onda su a i b jednaki, pa je spljoštenost ravna nuli. U vezi sa ovim, eliptične galaksije se označavaju sa slovom **E** uz koje dolazi broj koji karakteriše stupanj spljoštenosti.

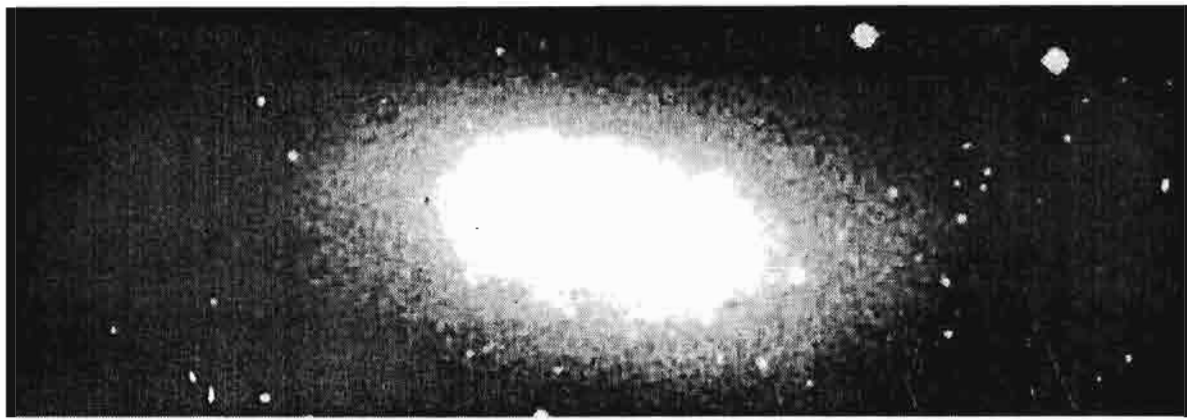
Tako možemo reći da je neka galaksija tipa E5.

Pokazalo se da spljoštenost galaksija ne može da bude veća od 7. Tako ne postoje galaksije sa pokazateljima spljoštenosti 8, 9 ili 10. Svakako da se postavilo pitanje o tome kakav je stvarni prostorni oblik eliptičnih galaksija. Imajući na umu da se na nebu može posmatrati ogroman broj eliptičnih galaksija, a sve one nam se pokazuju kao elipse različitog ekscentriciteta, to je lako zaključiti da su one oblika troosnog elipsoida. Elipsoid je jedino geometrijsko tijelo čiji ma kakav presjek daje elipsu. U specijalnim slučajevima, ovaj elipsoid prelazi u sferu.

U skladu sa tim kako nam je elipsoid neke galaksije okrenut, zavisice i spljoštenost dotične galaksije. Najveću spljoštenost imaju ekvatorske oblasti galaksije, pa zato ako je posmatramo normalno na osu vrtnje, to ćemo mjeriti najveći stepen spljoštenosti. To bi bila istinska spljoštenost, za razliku od posmatranja pod drugim uglovima, kada vidimo neke od projekcija i kada spljoštenost postaje prividno manja. Ukoliko se posmatranja obavljaju paralelno sa osom rotacije, tada će nam



Sl. 255 Određivanje stepena spljoštenosti galaksija



Sl. 256 NGC 205, patuljasti pratilac Velike magline u Andromedi

ona izgledati kao da je kružnog oblika.

Na osnovu svega navedenog moglo bi se zaključiti da spljoštenost eliptičnih galaksija ima kao uzrok isključivo različitu orijentaciju njihovih rotacionih osa u odnosu na posmatrača. Rješenje ovog problema moglo se naći samo na osnovu pretpostavke da je svaka prostorna orijentacija osa rotacije eliptičnih galaksija jednako vjerovatna. Ovakva razmatranja pokazala su da, recimo, u okviru skupova galaksija preovladavaju eliptične galaksije sa koeficijentom spljoštenosti između 4 i 7. Nasuprot tome, među eliptičnim galaksijama smještenim van skupova dominiraju one čiji su pokazatelji spljoštenosti mali.

Nepravilne galaksije

Sve do sada opisane galaksije imale su neku vrstu simetričnosti u svojoj formi. Postoje, međutim, galaksije čiji su oblici nepravilni i ne posjeduju nikakvu zakonomjernost u pogledu strukture. Od Hubble-a potiče njihova oznaka Ir (od engl. Irregular - nepravilan). Postojanje nepravilnih galaksija analizirano je teorijski. Postoji pretpostavka da sve galaksije počinju svoj život u haotičnom, nepravilnom stanju, a da pravilnost oblika i simetriju poprimaju tek kasnije uslijed

rotacije i uticaja gravitacije. Koliko će vremena biti potrebno da se pređe u stadij pravilnije forme zavisi prvenstveno od početne gustine materije koja gradi neku galaksiju. Ukoliko je srednja gustina manja od neke kritične vrijednosti, tada se pravilnost forme ne može ostvariti. Neke nepravilne galaksije su možda još uvijek mlade, pa nisu imale vremena da dostignu tu fazu. U nekim slučajevima ne treba isključiti ni mogućnost da do nepravilnosti dođe uslijed spoljnog utjecaja, kao što je gravitaciono dještvo bliske galaksije pored koje je ona prošla tokom svog života.

Nepravilne galaksije se dijele na dvije podklase. Podklasa Ir I je karakteristična po relativno velikom površinskom sjaju. Također, kod ovakvih nepravilnih galaksija opažaju se neki tragovi narušene spiralne strukture, istina teže primjetni. Ovakve galaksije se često sreću u parovima, pa prema Vaucouleur-u, one su nekada bile spiralne, a ta spiralnost je narušena međusobnim gravitacionim uticajima.

Nepravilne galaksije druge klase označavaju se sa Ir II. Njihov površinski sjaj je vrlo slab, pa je moguće posmatrati samo bliske galaksije ove vrste. Nizak površinski sjaj ujedno

znači i to da su ove galaksije veoma siromašne zvijezdama.

Posebne vrste galaksija

Pored normalnih galaksija, susrećemo i čitav niz posebnih grupa galaksija. Prije nego što opišemo neke od njih, treba znati da se često dešava da pojedine galaksije iz jedne podgrupe nađemo u katalogima druge podgrupe. To se dešava stoga što se do otkrića dolazilo na različite načine, korištenjem različitih metoda. Zbog toga np. jedna galaksija koju svrstavamo u kompaktne, može da se nađe i u katalogima plavih galaksija, ukoliko, intenzivno zrači u ljubičastom dijelu spektra.

Američki astronom Haro je 1956. godine, na snimcima načinjenim Schmidt kamerom opservatorije Mt. Palomar, otkrio veći broj objekata koji su se posebno isticali po intenzivnom zračenju u plavom dijelu spektra. Naknadno istraživanje snimaka načinjenih objektivskom prizmom na opservatoriji Lick, pokazalo je da kod mnogih od ovih plavih objekata postoje sjajne emisije linije koje ukazuju na visok stepen ionizacije materije u ovim objektima. Ove galaksije su prozване **plave galaksije Haro-a**. Po pravilu, ovi objekti su slabog sjaja i malih prividnih dimenzija, pa i u najvećim teleskopima ne pokazuju neku posebno prepoznatljivu strukturu.

Pokazalo se da jedan dio plavih galaksija pripada grupi spiralnih i nepravilnih galaksija koje karakterišu veće količine plinova koji su ionizirani energijom divovskih zvijezda visokih temperatura koje su smještene u njihovoj blizini. Kod druge grupe ovih galaksija opažaju se izrazito sjajna jezgra zvjezdolikog izgleda.

Sovjetski astronom B. Markarjan vršio je snimanja izabраниh oblasti neba Schmidt kamerom prečnika jedan metar na koju je bila montirana objektivska prizma. Posebna pažnja bila je posvećena objektima koji intenzivnije zrače u plavom dijelu spektra. On je time uspio da otkrije veliki broj plavih objekata. Galaksije iz njegovog kataloga prozване su **Markarjan-ove galaksije**. Pokazalo se da dio njegovih galaksija pripada plavim galaksijama Haro-a, dio su kvazari, a neke nisu ulazile ni u kakve postojeće kataloge. Markarjan je opazio i zanimljivu grupu objekata sa anomalijom u boji i spektru. Spektri im liče na spektre zvijezda tipova A i F, a u jezgru se opaža pojačanje intenziteta svjetlosti u ultraljubičastoj oblasti.

Daljim istraživanjima došlo je do otkrića **pekulijarnih i međudjejtvujućih galaksija**. Ne postoji strog kriterij šta je to pekulijarna galaksija. Engleska riječ "peculiar" znači u osnovi nešto posebno, po nečemu izuzetno, nešto što odstupa od pravila. U ovu grupu možemo, u principu, svrstati sve one neobične galaksije koje se ističu po nekim osobenostima koje ne srećemo kod tzv. normalnih galaksija.

Američki astronom **Halton Arp** se dugi niz godina bavi upravo ovim objektima. On je palomarskim teleskopom načinio niz snimaka pekulijarnih galaksija. Neke su bile karakteristične po mlazu izbačene materije, druge su imale spiralne krakove neobičnih oblika, treće su bile prstenaste itd.

Neki autori u pekulijarne galaksije ubrajaju i međudjejtvujuće. Na nebu se često sreću slučajevi da su dvije ili više galaksija prividno veoma blizu jedne drugima. U dosta slučajeva riječ

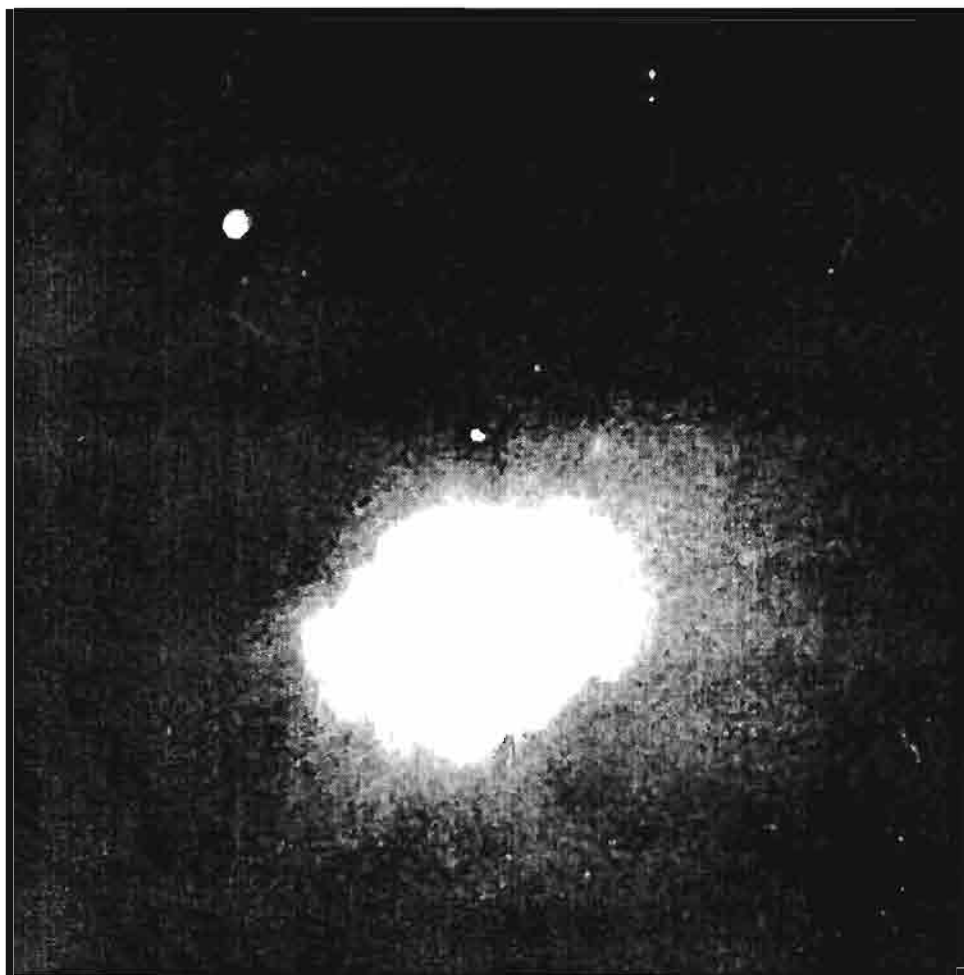
je o slučajnoj prostornoj projekciji na istu oblast neba. Kada se radi o sistemima za koje se ustanovi da su jednako daleko od nas, tada su one, najčešće i stvarno blizu jedna druge.

U nekim slučajevima opaženi su mlazevi materijala koji ističu iz jedne galaksije ka drugoj i spajaju ih poput mostova. Postoji jedna poznata i vrlo karakteristična grupa galaksija nazvana **Stefanov kvintet**. (Sl.257). Četiri galaksije u grupi imaju približno jednake crvene pomake (pomjeranje spektralnih linija u okviru opšteg širenja svemira), a peti član grupe se udaljava od nas sa 6 puta manjom brzinom. Svih pet galaksija su prividno smještene tik jedna do druge.

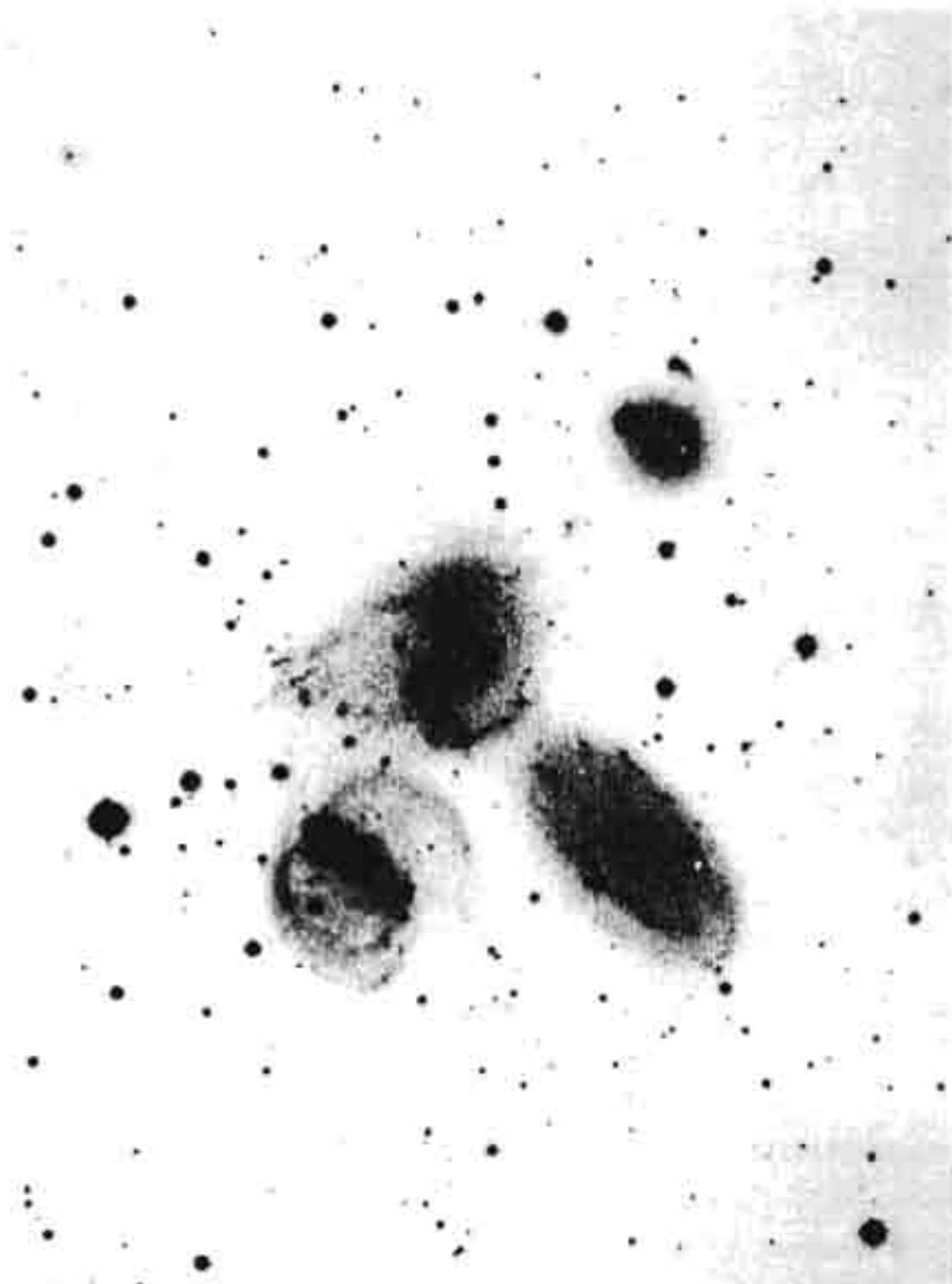
1959. godine sovjetski astronom B.A. Voroncov- Veljaminov objavio je

atlas i katalog 365 međudjejujućih galaksija. Atlas je napravljen tako što se sa velikim uvećanjem vršilo posnimavanje tih galaksija iz Palomarskog atlasa u kome su one često bile poput slabih tačkica, pa su samo ispitivanje lupom, ili čak mikroskopom, mogla da ustanove njihovo postojanje. Kasnije su vršena i snimanja mnogih sistema iz objavljenog atlasa (Arp sa Palomarskim teleskopom). Galaksije iz atlasa **Voroncov- Veljaminova** nose oznaku **W** i redni broj. Kasnije je isti astronom sastavio **Morfološki katalog galaksija (MCG)**, u kome se našlo 1765 međudjejujućih sistema.

Kod svih međudjejujućih galaksija, po pravilu se primjećuju razni "mostovi", koji povezuju pojedine članove ovakvih sistema.



Sl. 257 Pekulijarna galaksija NGC 3077. Snimak opservatorije Mt. Palomar.



Sl.258 Arp-ov snimak Štefanovog kvinteta. Snimak opservatorije Mt. Palomar.

Ti mlazovi materije mogu da primaju različite oblike, negdje su kompleksni i izraziti, a u drugim slučajevima jedva se vide kao slabi filamenti koji povezuju galaksije.

Postojanje "mostova", među galaksijama može se objašnjavati na različite načine, ali nema sumnje da

se radi o nekoj vrsti "isticanja" materije pod dejstvom gravitacionih ili elektromagnetnih sila ukoliko su mlazovi nevezdane prirode. Mnogi podatci govore da bi se "mostovi" mogli sastojati iz zvijezda, ali je u nekim slučajevima utvrđena polarizacija svjetlosti. Znamo, da polarizaciju



Sl.259 Pri bliskom susretu dvije galaksije, masivni elipsoidni sistem deformirao je galaksiju desno na snimku. Ovaj interesantan par se nalazi na granici dalekih južnih sazviježda Volans i Carina. Snimak je načinjen teleskopom prečnika 3,58 m opservatorije ESO u Čileu.

svjetlosti može prouzrokovati magnetno polje koje se formira u ioniziranom plinu i raspoređuje čestice tako da one mijenjaju svojstva svjetlosti odnosno, polariziraju je.

Pored međudjelujućih galaksija, koje karakterišu mlazevi materije, opaženo je postojanje sistema drugačijih oblika. Tako su registrovane galaksije u nizovima koje su, istovremeno, u međusobnom kontaktu. U nekim slučajevima dolazi do formiranja pravog "gnijezda" galaksija koje su sve omotane materijom.

Seyfert-ove galaksije

Ova za astronome izuzetno važna vrsta vangalaktičkih objekata otkrivena je još 1963. godine. Tada je C. Seyfert saopštio da u spektrima nekih galaksija, tačnije spektrima njihovih jezgri, postoje sjajne emisione linije. Već smo pomenuli da normalne galaksije imaju apsorbcione spektre (tamne linije na svijetlijem fonu). Emisioni spektri zvjezdolikih jezgri nekih galaksija,

ukazali su na postojanje do tada nepoznatih procesa u kojima se oslobađaju velike količine plina, prvenstveno vodika. Širina ovih sjajnih spektralnih linija ukazivala je da se radi o brzinama kretanja plinovite mase do nekoliko tisuća kilometara u sekundi.

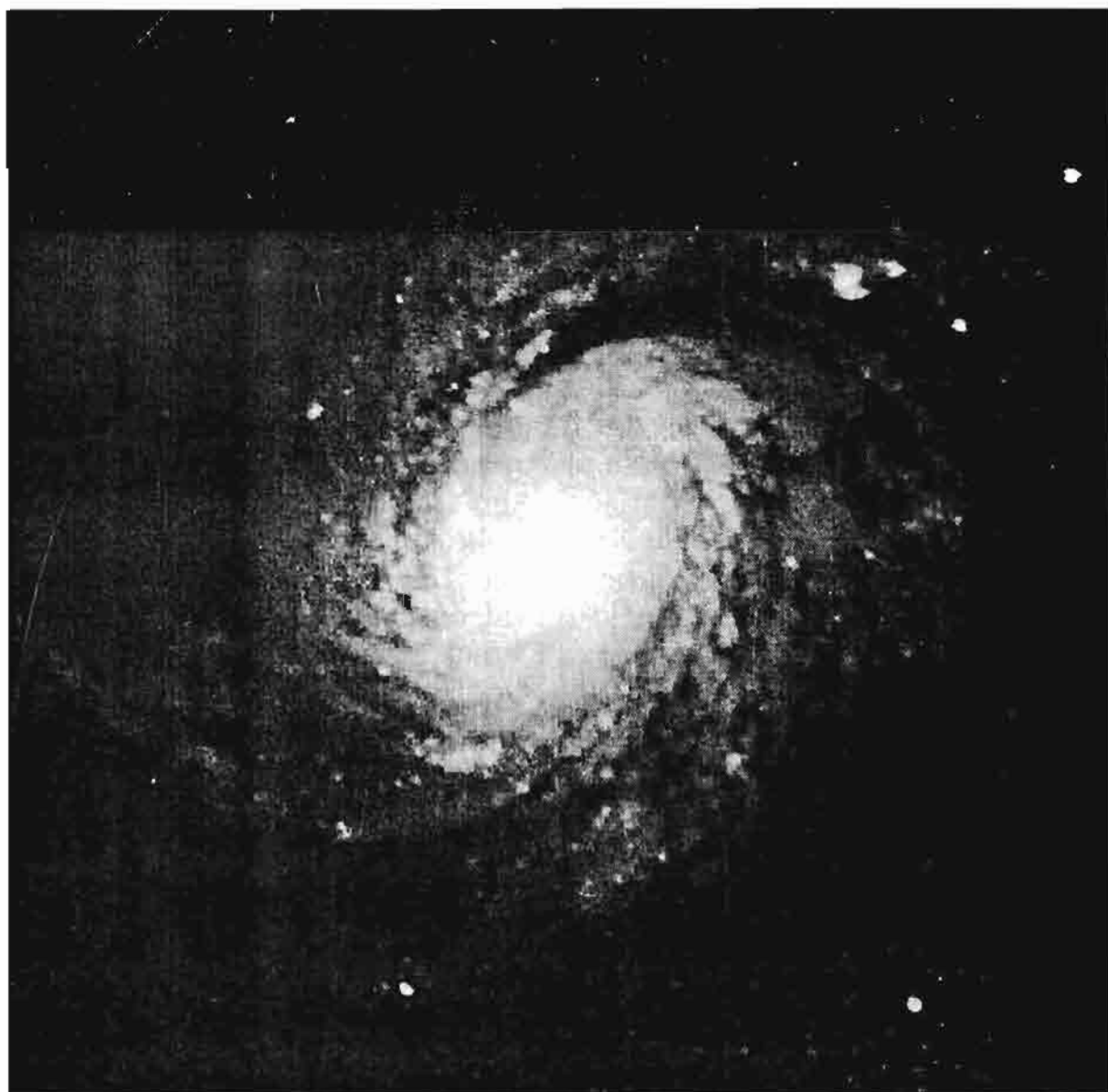
Kada su pedesetih godina otpočela prva radio-astronomska istraživanja, utvrđeno je, da jedan od vrlo "sjajnih" objekata na radio nebu predstavlja, u stvari, Seyfert-ovu galaksiju (NGC 1275). Ovaj izvor je inače poznat kao **Perzej A**. Pokazalo se još u nekoliko slučajeva da su Seyfert-ove galaksije ujedno i izvori radio emisija. Ove galaksije su, inače, slabog sjaja, i ima ih svega osam sjajnijih od 13-te prividne veličine. Detaljnija izučavanja pokazala su da se samo jedan dio Seyfert-ovih galaksija pojavljuje u katalozima radio izvora. Drugi dio ovih objekata ima slabo radio zračenje, a izvjestan broj nema ga uopšte.

Nema sumnje da je osnovni uzrok pojavi emisionih spektralnih linija neka

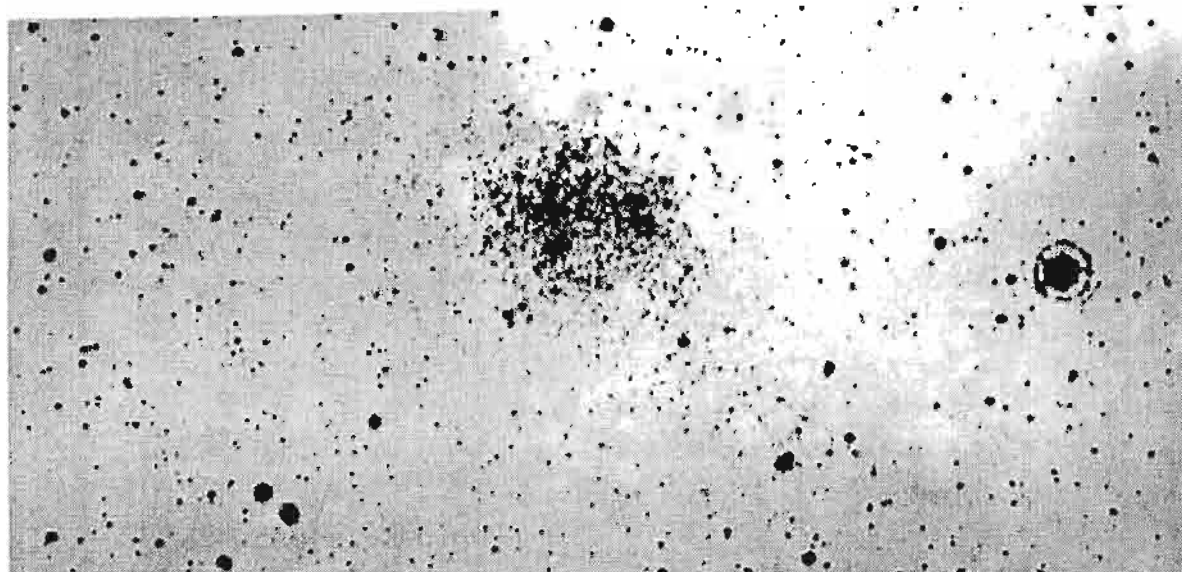
"aktivnost" u jezgru koje, kod većine Seyfert-ovih galaksija, ima zvjezdolik izgled. Astronomi nisu složni po pitanju da li se ova jezgra sastoje od zvijezda ili ih u njima uopšte nema. Skupine zvijezda same po sebi ne mogu ispoljavati neku zajedničku aktivnost. Takođe nisu razjašnjeni fizički procesi koji dovode do izbacivanja materije iz jezgri što se manifestuje na spektrima. Novija istraživanja prave vezu između Seyfert-ovih galaksija i kvazara kao sličnih objekata.

Patuljaste galaksije

1937. godine južna stanica Harvardske opservatorije u Boyden-u (Južna Afrika) objavila je otkriće neobičnog zvijezdanog sistema koga nisu mogli uporediti ni sa jednim od do tada poznatih vangalaktičkih objekata. Prema sazviježđu u kome je otkriven, nazvan je **Sistem u Sculptor-u**. Preliminarno posmatranje snimaka je pokazalo da se radi o nakupini vrlo slabih zvijezda. Posmatranja pomoću 2,5 metarskog teleskopa



Sl.260 Seyfert-ova galaksija NGC 1066 (M77) u Kitu. Snimak Evropske južne opservatorije načinjen je pomoću New Technology Telescope (NTT) prečnika 3,58 m.



Sl. 261 Patuljasta galaksija u sazviježđu Fornax. Snimak opservatorije Harvard.

opservatorije Mt. Wilson, pokazala su da je riječ o dalekoj galaksiji. Najsajnije zvijezde su crvene boje i slične onima koje se opažaju u kuglastim skupovima. No, za razliku od kuglastih skupova, gustina zvijezda u ovom sistemu veoma mala.

Istraživanja su pokazala da je apsolutni sjaj sistema u Sculptor-u 10,9 što znači da je čitava galaksija slabija od jedne jedine zvijezde iz Magelanovog oblaka (S Doradus). Kasnije su otkriveni i drugi slični sistemi. Zvezdani sastav je sličan sastavu kakav se sreće kod eliptičnih galaksija. Ovakvi sistemi imaju u prosjeku od 100 000 do nekoliko miliona zvijezda.

OSNOVNE FIZIČKE KARAKTERISTIKE GALAKSIJA

Sve galaksije, u malim teleskopima se vide u obliku slabih mrlja svjetlosti. Na sjevernom nebu samo je Veliku maglinu u Andromedi moguće vidjeti golim okom. Njen prividni sjaj je nešto veći od 4^m. Ostale galaksije

su slabijeg sjaja. Apsolutni sjaj ovih zvezdanih sistema je različit i zavisi od dimenzija galaksije, broja i sjaja zvijezda koje ih grade. Superdivovskim galaksijama smatraju se one čiji apsolutni sjaj prelazi -19^m. Galaksije NGC 4874 i NGC 4889 koje se nalaze u skupu Berenikina kosa, imaju apsolutni sjaj od po -22^m.

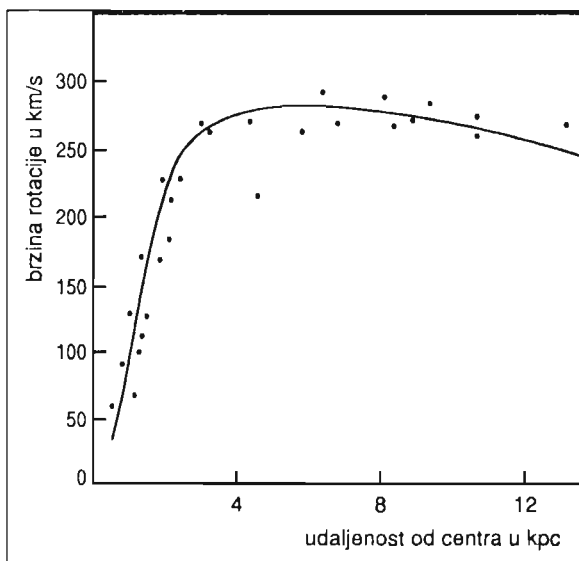
Kada smo opisivali strukturu naše galaksije, vidjeli smo da se u njoj građi pojavljuju pojedine karakteristične populacije. Ovakve populacije se sreću i kod drugih galaksija. Tako su vrući divovi, superdivovi, dugoperiodične cefeide, nove i supernove zvijezde, rasijani skupovi i vodikovi oblaci, opaženi u blizini ekvatorskih ravnina spiralnih galaksija. Ovo su objekti koji grade zvezdanu populaciju I tipa. Ovakav sastav srećemo i u nepravilnim galaksijama. Zvezdano naselje II tipa, koga grade crveni divovi, crveni patuljci, kratkoperiodične cefeide i kuglasti skupovi, je koncentrirano u jezgrima spiralnih galaksija. Ova zvezdana populacija je glavna građa eliptičnih i dijela nepravilnih galaksija.

Spektar svake pojedine galaksije sastavljen je iz ogromnog broja poje-

dinačnih zvjezdanih spektara koji se slijevaju jedni u druge. U zavisnosti od tipova zvijezda koje dominiraju u sastavu neke galaksije, razlikovat će se i izgled njenog spektra. Ako je, recimo, spektar neke galaksije sličan u opštim crtama spektrima zvijezda ranijeg spektralnog tipa, to znači da takve zvijezde i preovladavaju u sastavu te galaksije. Pokazalo se da spektri većine spiralnih sistema liče na spektre zvijezda ranijih spektralnih tipova. Kod eliptičnih galaksija imamo suprotnu pojavu.

Rotacija galaksija

Teorija pokazuje da bi svaki zvjezdani sistem koji ne rotira morao, prije ili kasnije, da poprimi kuglast izgled. Spljoštenost većine galaksija ukazuje da se one vrte. Ta vrtnja se, kod spiralnih i eliptičnih galaksija obavlja oko ose koja je normalna na glavnu ravan simetrije ovih sistema. Osnovni problem koji se postavio bio je kako dokazati da postoji vrtnja. Kod onih galaksija koje su nam okrenute tao da



Sl. 262 Tipična kriva rotacije neke galaksije. Pomoću nje uočavamo kako su raspoređene brzine pojedinih dijelova sistema u zavisnosti od udaljenosti u odnosu na centar.

se osa njihove rotacije poklapa sa pravcem u kome ih posmatramo, nemoguće je ustanoviti ma kakvo kretanje. Trebalo bi čekati milione godina da bi se opazilo neko kretanje. Međutim, kod galaksija koje gledamo sa boka, tj. normalno na osu njihove rotacije, ili pod nekim uglom u odnosu na nju, moguće je koristiti Doppler-ov efekat. Zbog rotacije, jedan rub galaksije nam se približava, a drugi se udaljava od nas.

Američki astronom **Melvin Slipher** je početkom dvadesetog stoljeća opazio rotaciju galaksija. On je pukotinu spektrografa postavljao duž velike ose vidljive elipse neke galaksije. Na snimcima su se pojavile nagnute spektralne linije što se objašnjava uticajem Doppler-ovog efekta. Zbog malog sjaja galaksija spektri se uglavnom dobijaju od jezgra koje je dovoljno sjajno. Činjenica da su linije, iako nagnute ostale prave, a ne zakrivljene, dokazuje da su uglovne brzine pojedinih dijelova galaksija, proporcionalne sa rastojanjem tih dijelova od centra. Mjerenja su pokazala da se periodi rotacije kreću od 3 do 400 miliona godina. To su uglavnom podaci i brzinama rotacije jezgri galaksija. Brzine kojima rotiraju udaljenije oblasti mjerene su na osnovu spektara vrućih superdivova i divova koji grade karakteristična zgušnjenja u spiralnim kracima galaksija. Spiralne galaksije rotiraju tako što im se pri rotaciji kraci "namotavaju".

Mase galaksija

Kada se otkrilo da galaksije rotiraju, tada se moglo prići rješavanju problema procjene njihovih masa. Naime, u svakoj tački neke galaksije, centrifugalna sila izazvana rotacijom

uravnotežava se sa centripetalnom silom koja zavisi od rasporeda mase u galaksiji. Na osnovu toga došlo se do grubih procjena masa galaksija. To je kod spiralnih galaksija rađeno na osnovu grafika rasporeda uglovnih brzina pojedinih tačaka. Eliptične galaksije se vrte veoma sporo i za njih nije bilo moguće postaviti grafik raspodjele uglovnih brzina.

Drugi metod ocjene masa galaksija se zasniva na tome da u sistemima koji se vrte veoma sporo ili se uopšte ne vrte, zvijezde mogu sa podjednakom vjerovatnošću, da se kreću u ma kojem pravcu. Ako izolovano posmatramo neki dio takve galaksije, onda će zvijezde koje se tu nalaze imati podjednak broj kretanja u svim pravcima. Zbog toga će spektralne linije biti raširene jer su nastale slaganjem spektara mnoštva zvijezda sa različitim uglovnim brzinama. Stepennost tih linija je i neka mjera kod grube ocjene mase.

Najmasivnija poznata galaksija je eliptični sistem NGC 4486, tipa E0. Njena masa iznosi oko tisuću milijardi masa Sunca.

LOKALNI (MJESNI) SISTEM GALAKSIJA

Zajedno sa 26 drugih galaksija, Mliječni Put gradi grupu koja se naziva Lokalni (Mjesni) sistem, Van granica ovog sistema galaksija, njihov broj u nekom izabranom volumenu opada, pa je razumno zaključiti da ovo grupisanje nije slučajno. U ovoj grupi pojavljuju se spiralne galaksije, nepravilne galaksije oba tipa, kao i patuljaste eliptične galaksije. Osnovni podaci o galaksijama Lokalnog siste-

ma dati su u tabeli koja je u Prilogu. Ovdje ćemo opisati najznačajnije članove,

Magellan-ovi oblaci

Mliječni Put posjeduje dva pratioca, male patuljaste galaksije nazvane Veliki i Mali Magellan-ov oblak. Oni se jasno golim okom vide sa južnih geografskih širina. Udaljeni su nekih 160 000 svjetlosnih godina. Ime im je dao Magellan-ov saputnik i historičar **Antonio Pigafetta** koji je bio pratilac slavnog moreplovca na njegovom putu oko svijeta. Obje galaksije sadrže veliki broj raznovrsnih objekata, a obzirom da su nam relativno blizu, to ih je lako izučavati i manjim teleskopima. Veliki Magellan-ov oblak se nalazi na granici sazviježđa Dorado (Zlatna riba), a Mali Magellan-ov oblak je vidljiv u sazviježđu Tukan.

Izučavanje ovih Oblaka omogućava nam da direktno studiramo anatomiju drugih zvjezdanih sistema. U Oblacima je otkriveno na tisuće sjajnih plavih zvijezda, zvjezdanih skupova, difuznih maglina, te promjenljivih zvijezda. Do sada je opaženo na desetine eksplozija novih zvijezda i jedna eksplozija supernove.

Veliki Magellan-ov oblak poka-zuje u svojoj morfologiji tragove spiralne strukture. Sadrži izduženje nalik na preslice kod prečkastih spiralnih galaksija. Na krajevima su oblici koji liče na početke spiralnih krakova. U jednom od njih opaža se sjajni kompleks difuznih maglina poznat kao "Tarantula", prečnika 1900 svjetlosnih godina. Veći broj kuglastih skupova gradi sferični "halo" oko Oblaka. Posebno je zanimljiva **zvijezda S Doradus** ili HD 33 579. Njen apsolutni sjaj iznosi $-10,1^m$ i od Sunca je sjajnija milion puta. To je



SI.263 Veliki i Mali Magellan-ov oblak. Snimak Harvard College opservatory

jedna od najsajnijih zvijezda u poznatom svemiru.

Mali Magellan-ov oblak izgleda kao umanjena kopija svog starijeg brata. On nam je, za razliku od Velikog oblaka, okrenut bočno. Radio-astronomska istraživanja pokazuju da su oba Oblaka umotana u zajednički plinoviti omotač.

Masa Velikog Magellan-ovog oblaka je jednaka masi 10 milijardi sunaca, pri čemu, na međuzvjezdani plin otpada oko 8% materije. Mali oblak ima masu od 2,5 milijardi sunaca. Posebno mjesto u istraživanju Magellan-ovih oblaka su

mjerenja sjaja promjenljivih zvijezda, posebno cefeida.

Velika maglina u Andromedi (M 31 ili NGC 224)

Ova velika i lijepa spiralna galaksija nalazi se na udaljenosti od 2,25 miliona svjetlosnih godina. To je jedini vangalaktički objekt na sjevernom nebu koji se vidi golim okom. Prva pismena svjedočanstva o njoj potiču iz desetog stoljeća, a dao ih je persijski astronom **Abdurrahman Al-Sufi**. **Simon Marius** je posmatra 1612.

godine, a Messier je uvrštava u svoj katalog maglina pod brojem 31.

Maglina u Andromedi je spiralni sistem tipa Sb i po dimenzijama dva puta prevazilazi Mliječni Put. Detaljna istraživanja ovog objekta počela su dvadesetih godina dvadesetog stoljeća i to od strane E. Hubble-a koji je tada rastavio na pojedine zvijezde njene spiralne krake. Njen zvjezdani sastav je sličan zvjezdanom sastavu našeg Mliječnog Puta.

U spiralnim kracima dominiraju divovi i superdivovi plave boje. Godišnje eksplodira i do 30 novih zvijezda. Veliki sistem od 140 kuglastih skupova obavlja Veliku maglinu. Radio

astronomska posmatranja govore da postoje velike mase vodika.

M31 ima četiri pratioca i svi su eliptične galaksije. Dva sjajnija i njoj bliža pratioca NGC 205 i M32 vide se malim teleskopima.

Maglina u Trokutu (M33 ili NGC 598)

Nalazi se skoro na istoj udaljenosti kao i M 31. Ovaj zvjezdani sistem je manji od onog u Andromedi. Prema nama je okrenut tako da ga posmatramo gotovo normalno na njegovu ekvatorsku ravan. Zapažaju se razvijeni spiralni kraci i malo jezgro. Ovo je spiralna galaksija tipa Sc. Broj



Sl.264 Velika maglina u Andromedi i njeni pratioci NGC 205 i M 32. Snimak Astronomske opservatorije u Sarajevu. Snimio: Muhamed Muminović.



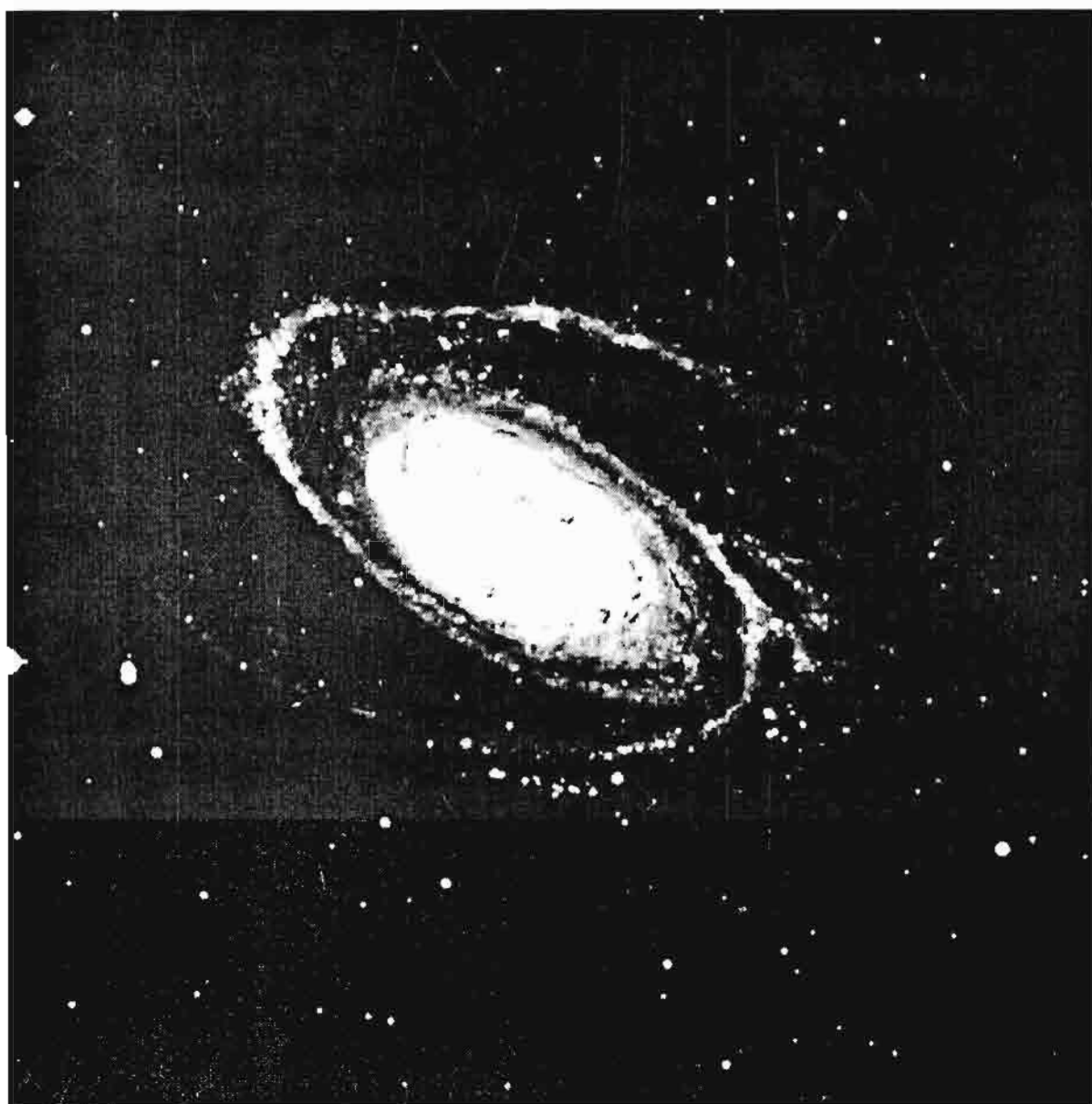
Sl. 265 Maglina M 33 ili NGC 598 u Trokutu (Fotografija Lick opservatorije).

opaženih novih zvijezda kod M33 je mnogo manji nego kod Velike magline u Andromedi. Razlog je manja masa od galaksije u Andromedi (10 puta) i drugačiji zvjezdani sastav. U Trokutovoj maglini opaženo je relativno malo planetarnih maglina. Istraživanja na valnoj dužini od 21 cm, radio putem, pokazuju da mase vodika struje ka Velikoj maglini u Andromedi.

Grupa galaksija u Velikom Medvjedu

Dominantna galaksija, u ovoj grupi od oko 40 članova, je M81, velika spiralna struktura tipa Sb. Nju je

moguće opaziti i malim teleskopima. U ovoj bliskoj grupi galaksija nalazi se i neobična galaksija M82 poznata po eksploziji u jezgru. U M81 opažene su cefeide, pa je to pomoglo pri određivanju udaljenosti. Galaksija je daleko oko 10 miliona svjetlosnih godina. Linearni prečnik ove bliske grupe je 3 miliona svjetlosnih godina. Ostatak članova su pored četiri manje spirale tipa Sc, uglavnom patuljaste galaksije slične Magellan-ovim oblacima. U M81 je 1993. godine eksplodirala veoma sjajna supernova (10^m). Poslije supernove u Velikom Magellan-ovom oblaku, to je najsajjnija ovakva pojava u našem stoljeću.



Sl. 266 *Spiralna maglina M81 u sazvežđu Ursa Major - lip Sb.*

Skupovi galaksija

Prva detaljnija posmatranja galaksija pokazala su da se one, u nekim dijelovima neba, mogu naći u daleko većem broju nego u drugim oblastima. Naravno, ovdje se isključuje opadanje broja galaksija koje nastaje kada se krećemo ka galaktičkom ekvatoru, tj. središnjim zonama Mliječnog Puta. Tu se naprosto radi o upijanju svjetlosti dalekih objekata u tamnoj međuzvezdanoj materiji, čija gustina raste prema galaktičkom ekvatoru. U onim nebeskim oblastima koje su dovoljno daleko

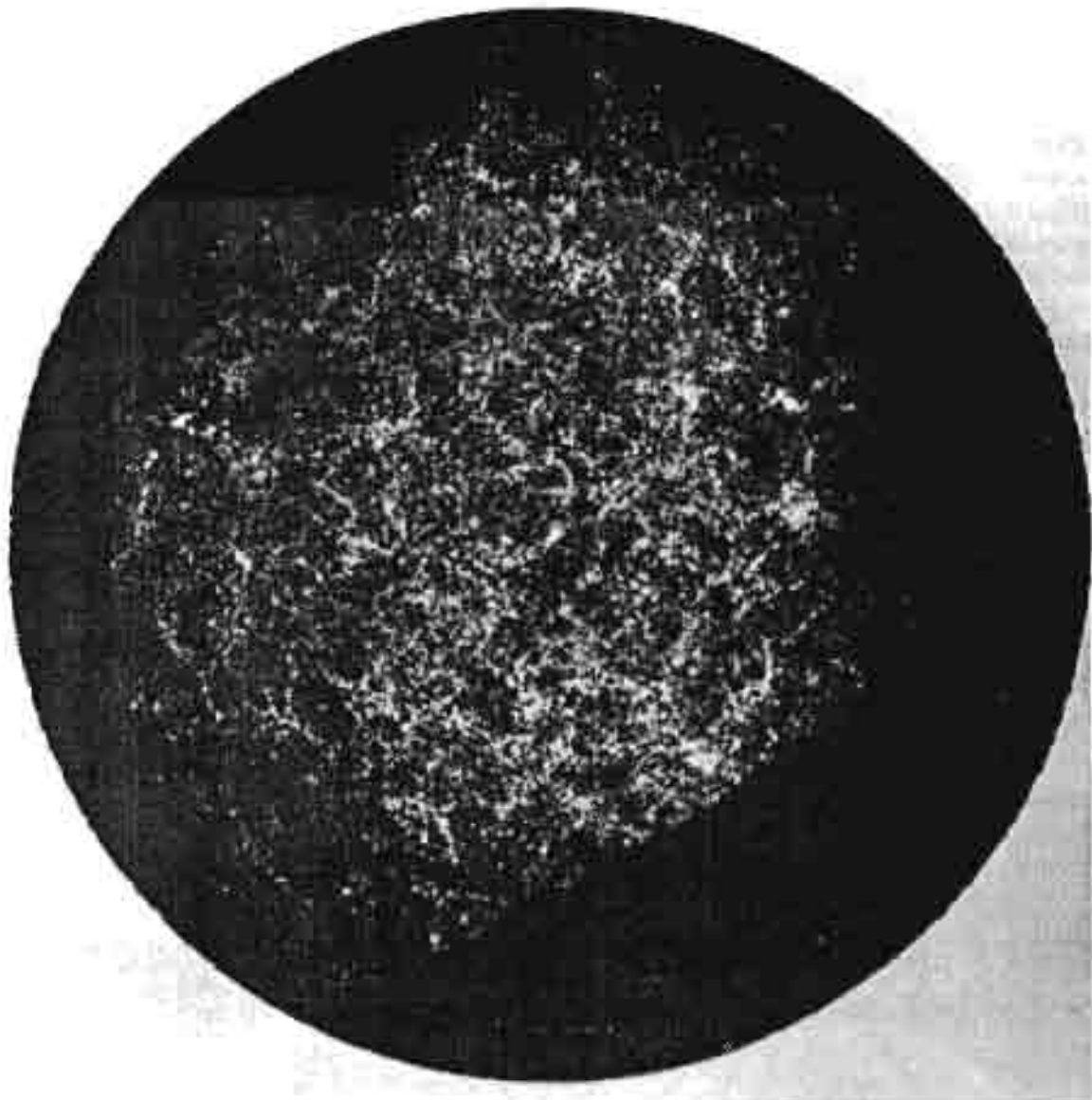
od zona apsorpcije, opažena je tendencija skupljanja galaksija u grupe. Takve konglomeracije, nazivamo skupovima galaksija. Izrazito guste skupove upoređive sa, recimo, kuglastim zvjezdanim skupovima, ne možemo naći na nebu. Njihove granice su neodređene, a u unutrašnjim zonama zapažaju se različite gustine zvjezdanih sistema. Jedan od problema, kod istraživanja nekog skupa galaksija, je u činjenici da se oni projektuju jedan na drugi tj. na istom pravcu mogu se naći nama bliži i neki

znatno dalji skup. Također, možemo govoriti o "opštem polju galaksija", čija je gustoća približno jednaka u svim zonama neba, pa i one unose nejasnoće u brojnost jednog skupa.

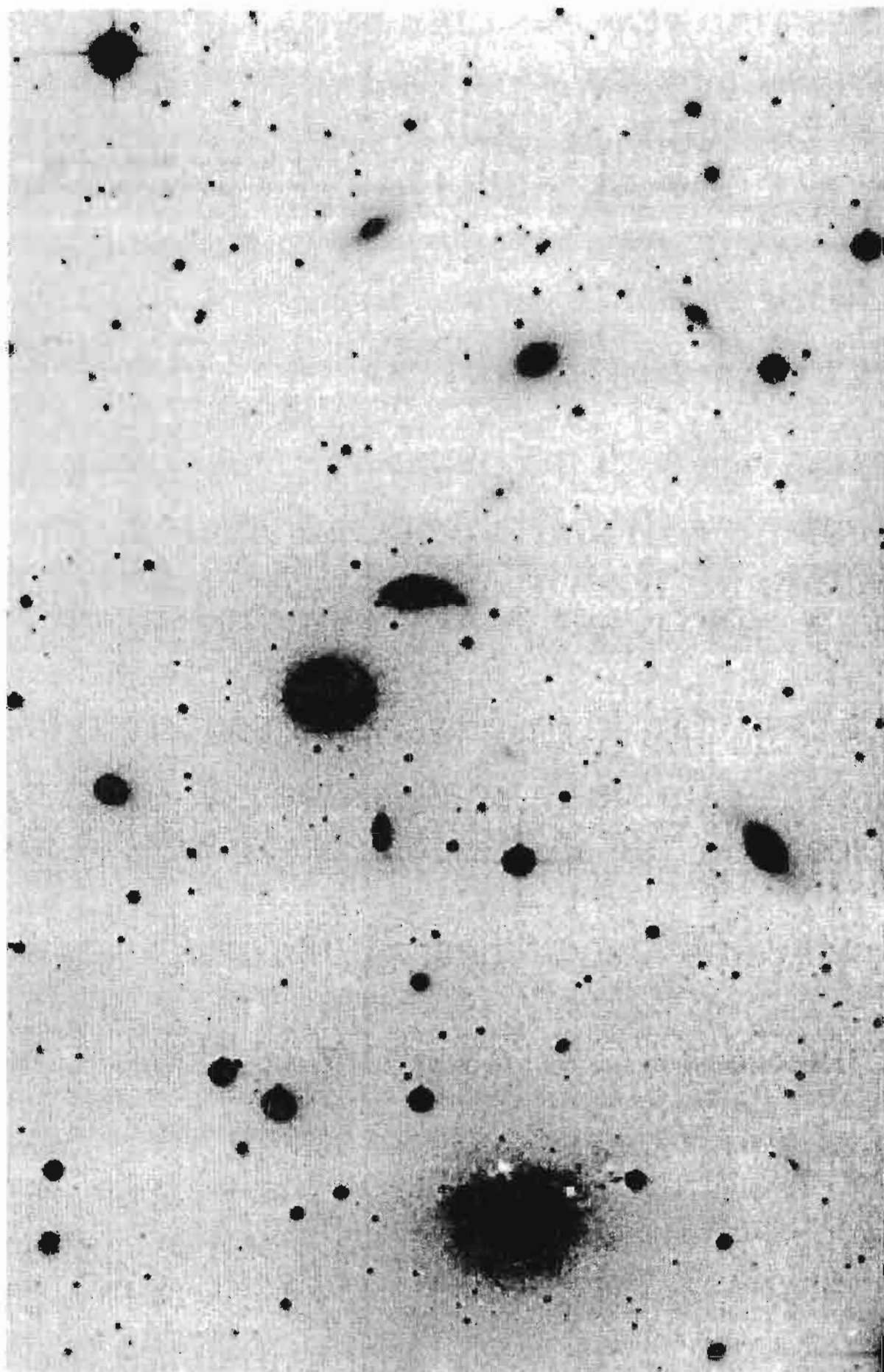
Skupove galaksija po nekim autorima možemo podijeliti na pravilne i nepravilne. Ovi prvi posjeduju neku vrstu sferne simetrije i gušći su. Nepravilni skupovi sadrže galaksije svih tipova, a u tu vrstu spadaju nama bliski skupovi u Djevici, Velikom Medvjedu i Lovačkim Psima. Pravilni skupovi su u potpunosti građeni od eliptičnih galaksija (tip E), a mogu se

sresti i spiralne tipa SO. Nama najbliži pravilni skup smješten je u sazviježđu Berenikina Kosa (Coma Berenices).

Skupovi galaksija nalaze se na ogromnim udaljenostima. Rastojanja se određuju na osnovu njihovog crvenog pomaka, tj. Hubble-ovim zakonom. Također se može koristiti činjenica da je apsolutni sjaj najsajnijih galaksija u svim skupovima približno jednak. Na osnovu toga, izmjerivši lako prividni sjaj, pomoću poznate formule koja povezuje te veličine, dolazimo do vrijednosti za rastojanje. Isto tako mogu se koristiti i eksplozije



Sl. 267 Raspored skupova i superskupova galaksija u makrokosmičkim razmjerima. Za ovaj kompjuterski crtež korišteni su podaci o položajima i sjaju više od milion galaksija.



Sl. 268 Dio velikog skupa galaksija u sazviježđu Perzeja. Snimak Hale observatorije.

supernovih u nekim od galaksija iz skupa. Veliki broj skupova iz galaksija pronađen je na kartama Palomarskog atlasa koji je snimljen Schmidt kamerom prečnika 120 cm na opservatoriji Mt. Palomar.

Novija istraživanja pokazuju da je raspored skupova galaksija takav da oni formiraju neke vrste superskupova. Ti superskupovi u dvodimenzionalnoj projekciji se pokazuju kao trake, čvorovi i zgušnjena. Trodimenzionalno gledano, očigledno se radi o nekoj vrsti pjenaste strukture u čijim se zidovima nalaze galaksije, dok ih u unutrašnjostima praktično nema. Pojedini mjehurići se međusobno dodiruju i tako stvaraju neku vrstu prostorne mreže. Najveća koncentracija materije (galaksija) je u tim presjecištima. Ovakva pjenasta, odnosno mrežasta struktura u kojoj su raspoređeni skupovi i superskupovi galaksija, očigledno ima direktnu vezu sa načinom na koji je nastao nama poznati svemir.

OSNOVI KOSMOLOGIJE

Hubble-ov zakon širenja svemira

Do jednog od najfundamentalnijih otkrića koje je vezano za opće kretanje galaksija došao je američki astronom E. Hubble. On je ustanovio da spektralne linije svih galaksija, izuzev onih nama bliskih, imaju veći ili manji pomak ka crvenom djelu spektra. Jedino moguće objašnjenje ove pojave je u tome da je ona izazvana Doppler-ovim efektom. Pokazalo se, također, da je odnos promjene valne dužine prema samoj valnoj dužini

jednak za sve linije u spektru određene galaksije. Taj crveni pomak ukazuje na činjenicu da se sve galaksije udaljavaju od nas brzinama koje se mogu odrediti iz proporcije:

$$z = \frac{v}{c} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \quad (1)$$

Ovdje je v brzina udaljavanja a c brzina svjetlosti. λ označava valnu dužinu, a $\Delta\lambda$ promjenu valne dužine svjetlosti. Također je utvrđeno da što je galaksija slabog sjaja, to je njen pomak ka crvenom veći. U većini slučajeva može se smatrati da do slabijeg sjaja pojedinih galaksija dolazi zbog njihovih većih udaljenosti. Iz ovoga se može zaključiti da, što je neka galaksija dalje od nas, to su njene spektralne linije više pomjerene ka crvenom dijelu spektra. Brzo se pokazalo da je ovaj zakon crvenog pomača ili Hubble-ov zakon jedan od osnovnih zakona prirode i svemira koga poznajemo.








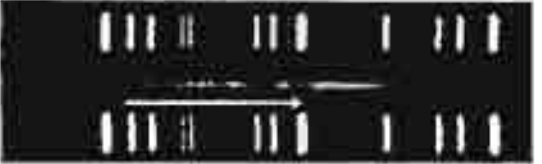


Pokazaćemo sada način na koji je Hubble došao do svog zakona. Pretpostavićemo da zakon crvenog pomača vrijedi i pišemo relaciju:

$$c \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = H \cdot r \quad (2)$$

H predstavlja neku konstantu proporcionalnosti i naziva se **Hubble-ova konstanta**. Iz opšte astronomije poznata je relacija koja povezuje prividni sjaj nebeskog objekta (m), apsolutni sjaj objekta (M) i njegovu udaljenost r . Ta relacija glasi:

$$m = M + 5 \log r - 5 \quad (3)$$

Preko jednačine (2) izrazimo r i dobijamo:

Galaksija u sazvežđu	Udaljenost u svjetlosnim godinama	Pomak ka crvenom i brzina udaljavanja
 Djevica	52 000 000	 1210 km/s
 Veliki Medvjed	650 000 000	 15 000 km/s
 Sjeverna kruna	940 000 000	 21 600 km/s
 Volar	1 700 000 000	 39 200 km/s
 Hidra	2 650 000 000	 61 000 km/s

SI.269 Pet galaksija sa različitim pomacima ka crvenom dijelu spektra i time različitim brzinama "bijega" u okviru općeg širenja svemira. Lijevi niz fotografija prikazuje pojedine galaksije, a desno su njihovi spektri. U pozadini svakog od spektara galaksije nalazi se poredbeni laboratorijski spektar. Strjelice označavaju koliko se neka karakteristična spektralna linija pomjerila ka crvenom kraju. Podaci ispod spektra govore kolikom se brzinom pojedina galaksija udaljava od nas u okviru sveopćeg širenja svemira.

$$m = 5 \log \left(c \frac{\Delta \lambda}{\lambda} \right) + M - 5 - 5 \log H \quad (4)$$

U ovoj jednačini posljedna dva člana su konstante. Ako još pretpostavimo da je apsolutna zvjezdana veličina M za sve galaksije približno jednaka, onda je jednačina (4) linearna. Istražujući veliki broj galaksija Hubble je došao do podataka za grafik, prividna veličina \log - što je prikazano na slici 270. Pokazalo se da se sve tačke nalaze približno raspoređene duž jednog pravca. Do odstupanja dolazi zbog toga što pretpostavka da sve galaksije imaju isti apsolutni sjaj, nije tačna. Kasnije su u razmatranju uzete samo sjajnije galaksije iz pojedinih skupova za koje je pretpostavka o jednakosti apsolutnog sjaja, približno tačna. Na tom grafiku tačke su veoma blizu jedne prave.

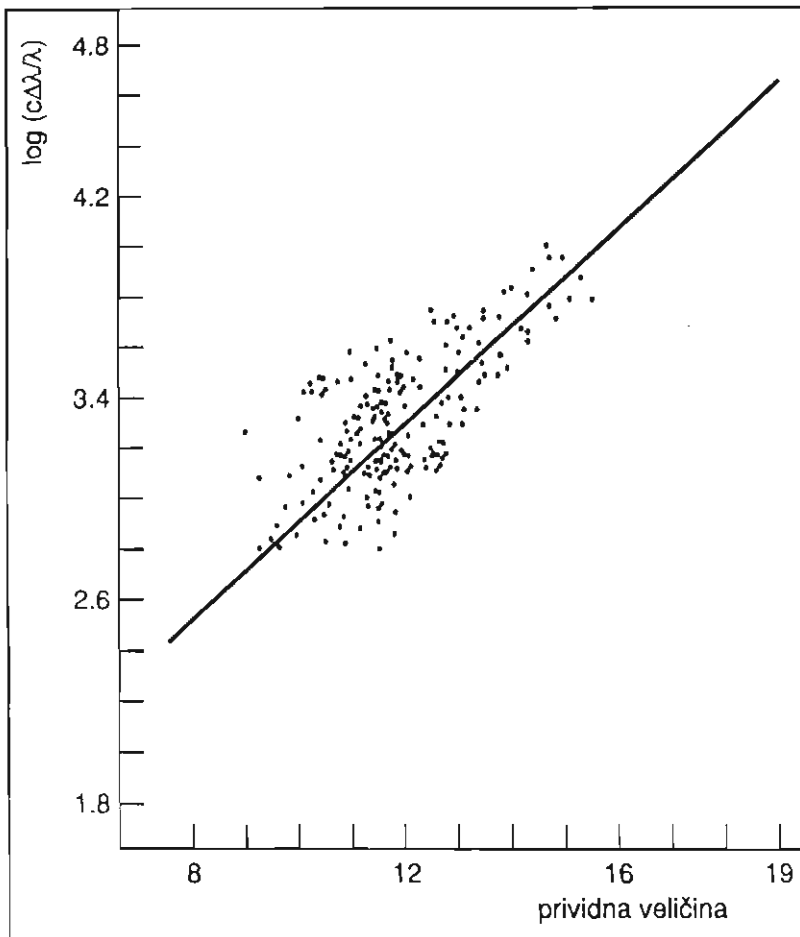
Tako smo došli do Hubble-ovog zakona širenja svemira koji glasi:

$$v = Hr \quad (5)$$

Kada su brzine udaljavanja velike i bliske brzini svjetlosti, tada se ne mogu zanemariti relativistički efekti, pa se za crveni pomak primjenjuje slijedeći izraz:

$$z = \frac{\sqrt{1 + \frac{v}{c}}}{\sqrt{1 - \frac{v}{c}}} - 1 \quad (6)$$

Hubble-ov zakon vrijedi samo u slučaju da do crvenog pomaka dolazi usljed Doppler-ovog efekta. Bilo je pokušaja da se crveni pomak objasni i na neki drugi način pa su uvedeni pojmovi kao "starenje kvanta svjetlosti" i sl. Međutim, opće je prihvaćeno da za sada nema drugačijeg objašnjenja za crveni pomak sem da se radi o



Sl.270 Grafik Hubbleovog zakona širenja svemira.

fizičkom udaljavanju galaksija u okviru općeg širenja svemira.

U prethodnom izlaganju koristili smo Hubble-ovu konstantu ne ulazeći u to kolika je njena stvarna vrijednost. Pošto se radi o jednoj od izuzetno bitnih veličina, određivanje njene vrijednosti ima veliki značaj za astronomiju. Zakon je tačniji što je rastojanje neke galaksije od nas veće. Kod bližih galaksija njihove sopstvene radijalne brzine (koje su proizvod vlastitih kretanja u lokalnim okvirima) u velikoj mjeri utiču na tačnost mjerenja. Kod dalekih galaksija te radijalne brzine postaju zanemarljivo male u odnosu na brzinu koja nastaje uslijed udaljavanja galaksije u okviru širenja svemira.

Da bi se odredila vrijednost Hubble-ove konstante neophodno je na osnovu crvenog pomaka izmjeriti brzinu kojom se neka daleka galaksija udaljava. Zatim je neophodno nekom metodom izmjeriti udaljenost te galaksije. To se može izvesti na osnovu eksplozija novih i supernovih zvijezda. Također se može koristiti pretpostavka da galaksije sličnog tipa imaju približno jednak apsolutni sjaj. Hubble je svojim posmatranjima našao da je vrijednost konstante H iznosi 50 kms^{-1} na jedan megaparsek. Baade je pokazao da je ova prvobitna ocjena bila netačna jer se bazirala na pogrešno određenoj udaljenosti Velike magline u Andromedi. Tako je on došao do zaključka da vrijednost konstante iznosi 75 kms^{-1} na jedan megaparsek. To znači da ako se neka galaksija udaljava brzinom od 75 kms^{-1} , ona dva puta dalja "bježi" dva puta većom brzinom. Neka novija mjerenja (M.Aaronson, 1982.) daju vrijednost Hubble-ove konstante od 85 kms^{-1} na megaparsek.

Poznavajući vrijednost ove konstante, možemo odrediti udaljenost ma kojeg objekta u svemiru sa koga nam dopire svjetlost čiji spektar možemo snimiti. Pored toga možemo izmjeriti vrijeme koje je potrebno da neka galaksija dođe iz neke početne tačke sa koje je širenje svemira počelo, na današnju udaljenost. To ćemo izvesti tako što ćemo podijeliti veličinu jednog megaparseka (Mpc), izraženu u kilometrima, sa vrijednošću Hubble-ove konstante:

$$T = \frac{3,81 \cdot 10^{19} \text{ km}}{85 \text{ km/s}} = \frac{381 \cdot 10^{17}}{85} \text{ s}$$

Pretvorivši, na kraju računanja, sekunde u godine, dolazimo do podatka da je vrijeme T , proteklo od trenutka kada je širenje započelo, iznosi oko 14,5 milijardi godina. Taj vremenski period predstavlja starost posmatranog dijela svemira. Na sličan način možemo odrediti i radius našeg svemira.

KOSMOLOŠKI MODELI

Uvod

Istraživanjem svemira u velikim razmjerama, odnosno istraživanjem onog nama dostupnog dijela sveukupnosti svijeta koji nas okružuje, bavi se kosmologija. U kosmologiji se za prostorne i vremenske jedinice koriste milijarde svjetlosnih godina i milijarde godina. Ova disciplina nam otvara put u svijet beskonačno velikog.

Historijski gledano, Ptolomejev i Kopernikov sistem svijeta bili su, također, neka vrsta kosmoloških modela. Obzirom na ograničenost saznanja kojima se tada raspolagalo, težište razmatranja ovih sistema svijeta

bilo je bačeno na naš planetski sistem. Nakon toga je, gledanje na svemir, pretrpjelo korjenite promjene od Keplerovih kristalnih sfera, preko heretičkih ideja Giordana Bruna o beskonačnosti svemira, pa do Newton-ove klasične slike svemira sa apsolutnim prostorom i vremenom. Newton-ov svemir se zadržao sve do pojave Einstein-ove teorije relativnosti, tačnije Opće teorije relativnosti.

Za Newton-ov svemir je bitno da u njemu vrijede postulati euklidske geometrije, da je stacionaran tj, u njemu nema kretanja velikih razmjera i na kraju da je homogen. Pod homogenošću se podrazumjeva da je, po općim karakteristikama (kao što su raspored materije i njena gustina), bilo koja tačka u svemiru slična ma kojoj drugoj.

Znatno prije nego se pojavila Opća teorija relativnosti, bilo je razmišljanja da nešto nije u redu sa Newton-ovim apsolutnim prostorom i vremenom. Pojavila su se najprije dva paradoksa. **Olbers** 1862. godine, formulira svoj **fotometrijski paradoks**. Ako je svemir beskonačan, razmišljao je on, tada zbog homogenosti sadrži beskonačno mnogo zvijezda, Sve one šalju svoju svjetlost i do Zemlje bi trebalo da dopire beskonačno mnogo tog svjetla. Uračunavši apsorpciju svjetlosti i zaklanjanje pojedinih zvijezda jednu drugom, dolazi se do zaključka da je ukupni sjaj koji bi nebo trebalo da ima ograničen ali ipak veoma velik. Prema nekim procjenama ono bi moralo biti po sjaju jednako sjaju Sunca. Znamo da to nije slučaj i da je zvjezdano nebo



SI.271 Pioniri teorije relativnosti. S lijeva na desno stoje: Albert Einstein, Arthur Eddington, Paul Ehrenfest; sjede: H.A. Lorentz i Willem de Sitter,

veoma tamno. Znači, ili svemir nije homogen ili nije bes-konačan.

Drugi paradoks, nazvan **gravitacioni paradoks**, nastaje kada Newton-ov zakon gravitacije primjenimo na statični i beskonačni svemir. Zvijezde bi se zbog međusobnog privlačenja "urušavale" jedna ka drugoj. Beskonačno velike gravitacione sile proizvele bi neodređena stanja i zakon gravitacije ne bi važio. No, mi smo svjedoci da nije tako.

I primjena zakona termodinamike dovodi nas do paradoksalnih situacija. Poznato je da se u svijetu koji nas okružuje neprekidno vrši razmjena toplote. Energija sa toplijih tijela prelazi na hladnija i taj proces je ireverzibilan tj. nepovratan. Obratni slučajevi nikada nisu registrirani. Ako je svemir stacionaran (a samim tim to znači da postoji beskonačno dugo) tada je morao već doći u stanje toplotne ravnoteže u okviru koje bi se sva toplota u njemu podjednako rasporedila. Nastupila bi tzv. **"toplotna smrt svemira"** i sva kretanja bi prestala. Ni jedna nama poznata pojava ne svjedoči u korist ovakvog scenarija, pa je jasno da nešto nije u redu sa predloženim modelom svemira.

Einstein-ova teorija relativnosti unijela je nova gledanja na ovaj problem. U okviru ove opće teorije relativnosti uvedeno je drugačije gledanje na gravitaciju. Prostor se posmatra kao četvorodimenzionalni, a njegova geometrija nije euklidska, odnosno ne važe postulati ove geometrije.

Einstein najprije dolazi do prve moguće varijante svemira. Uvodi tzv. **sferični svijet**. Izraz "svijet" odnosi se na prethodno pomenuti četvorodimenzionalni svemir. Oblik jednačina gravitacije koje se pojavljuju u Općoj

teoriji relativnosti je takav, da nisu moguća rješenja u kojima je svemir stacionaran. Vjerujući da je on upravo takav, Einstein uvodi jedan hipotetični član, nazvan lambda član. U tom slučaju jednačine imaju samo jedno rješenje koje ne zavisi od vremena. Sam član lambda je neka vrsta "mjere" za tzv. gravitaciono odbijanje. Einstein je, naime, pretpostavio da na ogromnim udaljenostima kakva su ona između galaksija ili još prije između skupova galaksija, umjesto privlačne sile postoji sila odbijanja. Ta odbojna sila spriječava svu materiju svemira da zbog djelovanja gravitacije postepeno sva podne u jednu tačku.

Još jedan zaključak se izvodi iz prethodnih postulata Einstein-ovog stacionarnog svijeta. On je konačan po svom volumenu i putujući dovoljno dugo po njemu, vratili bi smo se poput Magellan-ovih mornara u istu tačku iz koje smo pošli. Prostor je neeuklidski, zakrivljen je i svjetlost putuje tako da slijedi tu krivinu. Van ovog svemira može da postoji bilo šta ali mi nemamo načina da to spoznamo.

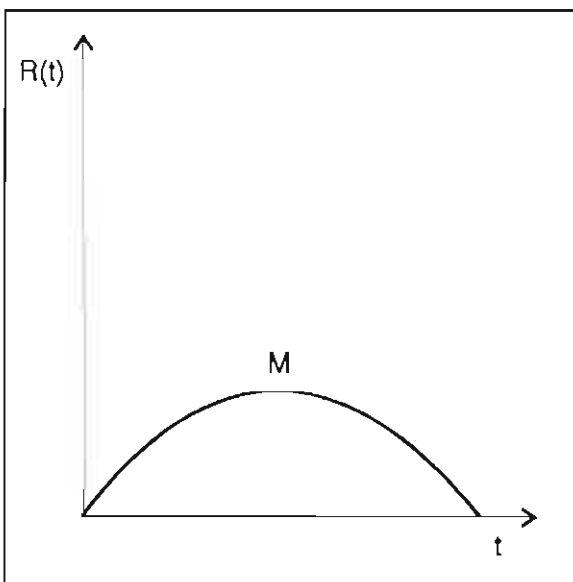
Ubrzo su se pojavila i mišljenja da se svemir možda ipak mijenja sa vremenom, odnosno da se narušava njegova stacionarnost. Ruski fizičar **A.A. Friedmann** prvi je došao do ove ideje i pokazao da jednačine gravitacije imaju i druga rješenja. Zadržavajući homogenost one su dopuštale postojanje svemira koji se širi ili skuplja. Friedmann nije odbacio lambda član, ali je pokazao da u slučaju da je on jednak nuli, postoje tri nestacionarna rješenja. Kakav je svemir u realnosti zavisi isključivo od vrijednosti za srednju gustinu materije u svemiru i kako se ona odnosi prema nekoj teorijski određenoj kritičnoj gustini. U narednom

tekstu dati su opisi tri moguća modela svemira. Oni su u osnovi Friedmannovski ali su prošireni korištenjem novih astrofizičkih podataka.

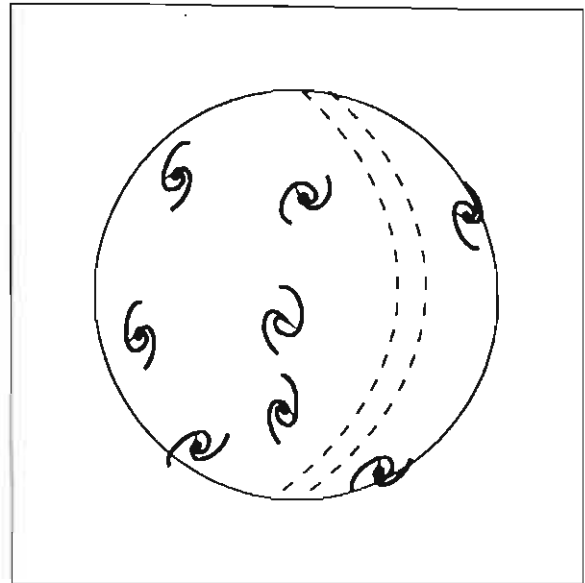
Zatvoreni model svemira

Ako je gustina materije u svemiru veća od teorijske kritične gustine, tada je svemir neeuclidski, sferični i promjenljivog radiusa. Grafička zavisnost radiusa ovakvog svemira od vremena data je na slici 272, a dvodimenzionalna analogija njegovog izgleda je površina kugle (sl.273). Svemir će se širiti milijarde godina sve dok gravitacione sile ne nadjačaju uticaj sila koje su izazvale širenje. Tada će sva materija u vidu zvijezda i galaksija početi da pada ka centru odakle je širenje započelo.

U posljednjoj fazi ovog kolapsa, zračenje će početi da se ponaša na sličan način kao i komprimirani zrak. Porastom temperature zračenja, nebo će postati sjajnije. Kada se svemir skupi na stoti dio današnjeg radiusa, zračenje koje ga ispunjava, dostići će temperaturu unutrašnjosti Zemlje.



Sl.272 Grafička zavisnost radiusa svemira od vremena (zatvoreni model)



Sl.273 Zatvoreni model svemira

Galaksije će se početi stapati jedna u drugu, ali će zvijezde još postojati kao posebna zgušnjena.

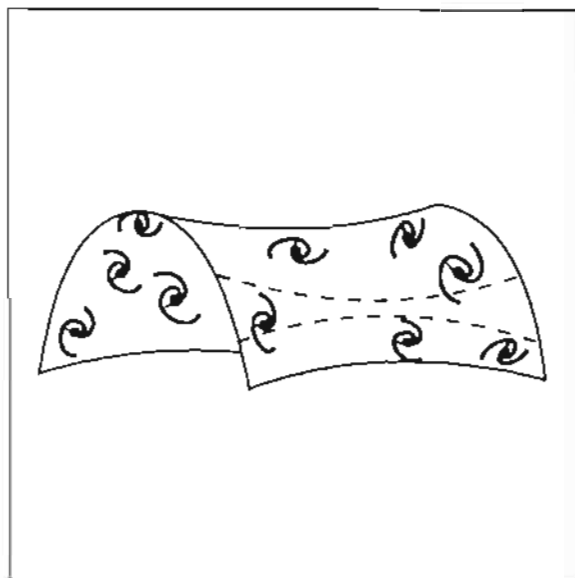
Kada se svemir skupi na dva tisuća dijela sadašnjeg radiusa, temperatura zračenja će porasti na 5-6 tisuća stepeni. Sjaj neba postaće ravan sjaju Sunca. Sunce će znatno ranije završiti svoj život. Pri ovakvim temperaturama, vanjski slojevi masivnijih zvijezda, počće da se odvajaju, a pojedinačni atomi da se cijepaju na jezgre i elektrone. Slobodni elektroni će rasijavati zračenje i "nebo" će postati neprozirno. Kada temperatura zračenja poraste na više miliona stepeni, zvijezde će naprosto "proključati" i eksplodirati. Za samo nekoliko nedjelja, temperatura svemira će se popeti na milijardu stepeni i čak će se jezgre raspasti na protone i neutrone. Sa sve bržim skupljanjem svemira, temperatura će za nekoliko minuta porasti na bilion stepeni, a protoni i neutroni će se dezintegrirati na kvarkove. Za dalje opisivanje događanja potrebno je Einstein-ovu teoriju zamijeniti kvantnom teorijom gravitacije koja još nije uspješno uspostavljena. Neki smatraju

da će se nakon totalnog kolapsa svemir ponovo početi širiti. Na ovom posljednjem stadiju prostor-vrijeme se, u skladu sa teorijom relativnosti, raspao pa su i pojmovi vremena i prostora izgubili smisao.

Otvoreni model svemira

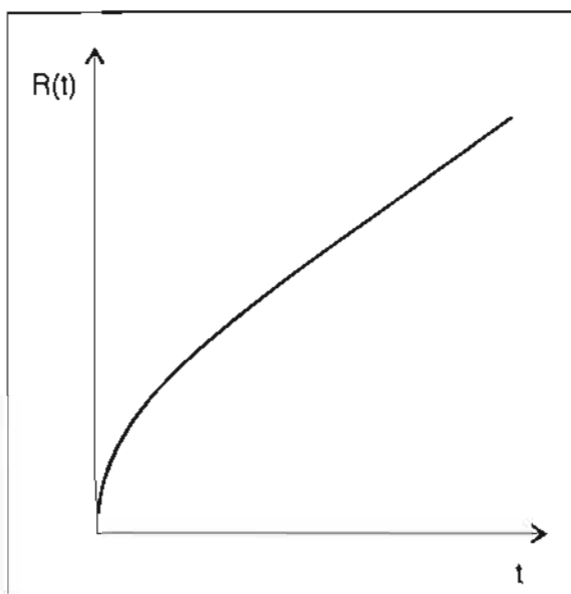
Ako je gustina materije u svemiru manja od kritične gustine, tada širenje traje neograničeno dugo. U ovakvom slučaju, neeuclidiska geometrija svijeta je takva, da imamo prostor sa konstantnom negativnom krivinom. Dvodimenzionalna analogija ovog svemira je površina hiperboloida (sl.274).

Sve zvijezde će postepeno sagoriti svoje nuklearno gorivo i skupiti se do stadija bijelih ili crvenih patuljaka, neutronske zvijezde ili crnih jama, zavisno od puteva svoje evolucije uslovljenih početnom masom. Većina



Sl.274 Dvodimenzionalna analogija za otvoreni model svemira

ovih zvijezda će napustiti galaksije, ali će ih izvjesna količina ostati u jezgrima gdje će se formirati crne jame sa masama od nekoliko milijardi sunaca. Dio ukupne mase svemira bi ostao i u sastavu međuzvjezdanog plina.



Sl.275 Grafik radiusa svemira u zavisnosti od vremena, za otvoreni model

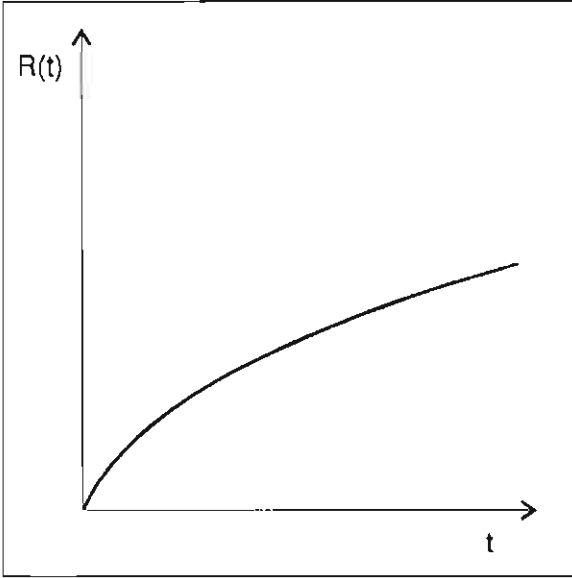
Šta će se dalje dešavati sa materijom trebalo bi zavisiti od stabilnosti elementarnih čestica. Pretpostavlja se da bi nakon eona proteklog vremena moralo doći do raspada protona i neutrona. Prema nekim procjenama to bi se trebalo desiti nakon 10^{31} godina. Njihova masa-energija bi prešla u zračenje, elektrone i pozitrone. Kada su izolovani, elektroni i pozitroni predstavljaju apsolutno stabilne čestice. Njihov međusobni susret vodi anihilaciji pri kojoj se njihova masa-energija pretvara u zračenje. Zbog općeg širenja svemira, šanse međusobnih susreta će opadati i u ovakvom otvorenom modelu, toplotna smrt svemira nije moguća.

Prelazni model svemira

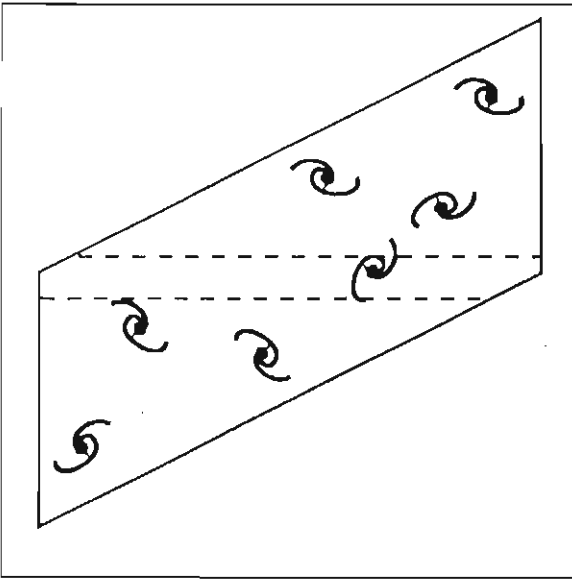
Ako se širenje svemira odvija prema zakonitosti koja je prikazana na grafiku 276, tada je geometrija "svijeta" ravna, što u dvodimenzionalnoj analogiji prikazano na slici 277. Gustina materije je jednaka kritičnoj gustini, i tada će se svemir širiti vječno. Brzina

širenja će konstantno opadati, ali nikada neće postati jednaka nuli.

Kod ovog modela je problematična vjerovatnost da materija svemira ima baš tu kritičnu gustinu. Kontinuirano opadanje širenja svemira povećava



SI.276 Grafik za prelazni model



SI.277 Dvodimenzionalna analogija za prelazni model svemira

šansu da se elektroni i pozitroni privlače i formiraju nestabilnu formu nazvanu "pozitronijum" koji je sastavljen od "atoma" u kojima elektron i pozitron orbitiraju jedan oko drugog. Pri tome bi zračili energiju i postepeno se približavali jedan drugome. Nakon 10^{16}

godina približili bi se i anihilirali. I u ovom slučaju entropija bi rasla ali svemir nikada ne bi dostigao toplotnu ravnotežu.

Opisana slika formiranja hipotetskog pozitronijuma nije uzimala u obzir nehomogenosti u gustini materije kakve se nalaze u crnim jamama. Crne jame bi se mogle međusobno privlačiti, a takođe raspasti eksplozijom. U otvorenom modelu svemira crne jame završe svojim "isparavanjem" nakon dovoljno vremena (10^{108} godina za masivniju crnu jamu). U prelaznom modelu, jame će se prije spajati nego isparavati. Spajanjem dvije crne jame njihove entropije se povećavaju četiri puta u odnosu na entropiju jedne od jama. Tim sjedinjavanjem dolazi postepeno do enormnog porasta entropije.

Opisani hipotetični scenariji evolucije svemira dati su samo kao primjeri kako se može razmišljati o ovim stvarima. Postoje još neke klasične ideje i mogućnosti, ali ih ovdje nećemo opisivati.

Big bang, mikrovalno pozadinsko zračenje i inflatorna teorija

Nema sumnje da se jedino iz astronomskih posmatranja mogu potvrditi ili oboriti pojedini kosmološki modeli. Pri tome je posebno važno posmatranje veoma dalekih objekata kakvi su kvazari. Što su oni dalji, do su bliži počecima rađanja svemira. Neki od predviđenih efekata Einstein-ove teorije gravitacije potvrđeni su novijim posmatranjima. Opaženi su sekundarni likovi dalekih kvazara nastali savijanjem njihove svjetlosti kroz "gravitacione leće", a to su najčešće masivne

galaksije smještene između nas i tih kvazara.

U svim modelima svemira koje smo opisali, imamo neki početak tj. tačku koja označava trenutak rađanja svijeta. To rađanje, odnosno način na koji se taj proces odigrao (jednom ili bezbroj puta), također je bilo predmetom ispitivanja kosmologa. Tako su nastale neke poznate teorije kao što je teorija **Velikog praska** (engl. Big Bang) i slične. Prema njenim autorima, sva materija svemira bila je nagomilana u jednom ograničenom volumenu i imala je ogromnu temperaturu. Usljedn nekih fizičkih uzroka, došlo je do divovske eksplozije (Veliki prasak) i svemir je počeo da se širi. Njegova temperatura je počela da opada i rodili su se prvi atomi. Istovremeno sa širenjem, opadala je i temperatura zračenja, odnosno, umanjivala se energija fotona ili kvanta elektromagnetskih valova. Teoretičari su došli do zaključka da bi ostatak tog prvobitnog zračenja trebao i danas da ravnomjerno ispunjava svemir i da ima temperaturu od 3-4 Kelvina. Najveći intenzitet ovo prvobit-

no zračenje imalo bi u oblasti valnih dužina od 1,5 mm, a moguće ga je naći i na centimetarskim i decimetarskim valovima. Sve ove valne dužine pripadaju području radio valova.

Sasvim slučajno, 1965. godine, došlo se do otkrića ovog zračenja. **Arno Penzias i Robert Wilson** su radili na novoj i veoma osjetljivoj anteni kompanije Bell u USA. Na valnoj dužini od 7,35 cm opazili su postojanje smetnji. Temperatura ovog zračenja iznosila je oko 3K. Kasnije je ovo zračenje opaženo i na manjim, odnosno većim valnim dužinama. Šum je sa podjednakim intenzitetom dopirao iz svih pravaca, pa je to vodilo zaključku da je njime ravnomjerno ispunjen čitav svemir. Ovim je direktno dokazano da je svemir imao jednu fazu u svojoj evoluciji u kojoj su temperatura i gustina bili enormno veliki. Preciznija mjerenja dala su podatak da temperatura ovog zračenja, nazvanog **mikro-valno pozadinsko zračenje** ili **reliktno zračenje**, iznosi 2,735 K.

Da bi se precizno istražio ovaj eho ili šapat pradaune eksplozije, 1989.



SI.278 Mapa neba snimljena u oblasti 53 GHz pomoću satelita COBE. Primjećuje se postojanje anizotropije izazvane Doppler-ovim efektom usljed kretanja Zemlje.

galaksije smještene između nas i tih kvazara.

U svim modelima svemira koje smo opisali, imamo neki početak tj. tačku koja označava trenutak rađanja svijeta. To rađanje, odnosno način na koji se taj proces odigrao (jednom ili bezbroj puta), također je bilo predmetom ispitivanja kosmologa. Tako su nastale neke poznate teorije kao što je teorija **Velikog praska** (engl. Big Bang) i slične. Prema njenim autorima, sva materija svemira bila je nagomilana u jednom ograničenom volumenu i imala je ogromnu temperaturu. Usljedn nekih fizičkih uzroka, došlo je do divovske eksplozije (Veliki prasak) i svemir je počeo da se širi. Njegova temperatura je počela da opada i rodili su se prvi atomi. Istovremeno sa širenjem, opadala je i temperatura zračenja, odnosno, umanjivala se energija fotona ili kvanta elektromagnetskih valova. Teoretičari su došli do zaključka da bi ostatak tog prvobitnog zračenja trebao i danas da ravnomjerno ispunjava svemir i da ima temperaturu od 3-4 Kelvina. Najveći intenzitet ovo prvobit-

no zračenje imalo bi u oblasti valnih dužina od 1,5 mm, a moguće ga je naći i na centimetarskim i decimetarskim valovima. Sve ove valne dužine pripadaju području radio valova.

Sasvim slučajno, 1965. godine, došlo se do otkrića ovog zračenja. **Arno Penzias i Robert Wilson** su radili na novoj i veoma osjetljivoj anteni kompanije Bell u USA. Na valnoj dužini od 7,35 cm opazili su postojanje smetnji. Temperatura ovog zračenja iznosila je oko 3K. Kasnije je ovo zračenje opaženo i na manjim, odnosno većim valnim dužinama. Šum je sa podjednakim intenzitetom dopirao iz svih pravaca, pa je to vodilo zaključku da je njime ravnomjerno ispunjen čitav svemir. Ovim je direktno dokazano da je svemir imao jednu fazu u svojoj evoluciji u kojoj su temperatura i gustina bili enormno veliki. Preciznija mjerenja dala su podatak da temperatura ovog zračenja, nazvanog **mikro-valno pozadinsko zračenje** ili **relik-tno zračenje**, iznosi 2,735 K.

Da bi se precizno istražio ovaj eho ili šapat prдавne eksplozije, 1989.



Sl.278 Mapa neba snimljena u oblasti 53 GHz pomoću satelita COBE. Primjećuje se postojanje anizotropije izazvane Doppler-ovim efektom usljed kretanja Zemlje.

godine lansiran je poseban satelit nazvan **COBE** (**CO**smic **B**ackground **E**xplorer). Već prva posmatranja su pokazala da se spektar kosmičkog pozadinskog zračenja podudara (u pogledu oblika i intenziteta) sa krivom spektra zračenja apsolutnog crnog tijela.

Kada razmišljamo o postanku svemira, uvijek nam se postavljaju pitanja poput onog, šta je bilo prije Velikog praska, ili, gdje je lokacija tog početka. Ako bi to posmatrali relativistički, tada bi mogli reći da svemir nije nastao u vremenu već da je rođen sa vremenom. Na isti način tada je rođen i prostor. Postavlja se još bitnije filozofsko pitanje: zašto se to uopće desilo? Uzimajući u obzir prethodne spekulacije o prostoru i vremenu, morali bi doći do zaključka da prije početka nije bilo nikakvih fizičkih procesa koji bi izazvali Big Bang. Neki odgovaraju da se to jednostavno desilo. No, kako objasniti nastanak nečega iz ničega, a da ne zapadnemo u oblast iracionalnog?

Neki noviji pristupi pružaju interesantne mogućnosti. Posebno su se stvari izmjenile uvođenjem elemenata kvantne teorije polja u objašnjavanje fizičkih procesa tog ranog svemira. Pošlo se od toga da bi se i polja, poput atoma, mogla naći u pobuđenim stanjima. Polje koje posjeduje višak energije izgleda u potpunosti kao prazan prostor. Fizičari o njemu govore kao o pobuđenom ili "lažnom" vakuumu. Može se pokazati da ovakvo polje posjeduje upravo kolosalne količine energije. Tu je i fantastično velik pritisak koji se tretira kao "negativan". U skladu sa Einstein-ovom općom teorijom relativnosti, energija i pritisak doprinose gravitaciji. U "lažnom"

vakuumu, pritisak dominira i obzirom da je negativan, on proizvodi gravitaciono odbijanje ili antigravitaciju. Odgovor na pitanje zašto je uopće na jednom ultramikroskopskom nivou došlo do pojave pobuđenog stanja, treba tražiti u samim osnovama kvantne teorije gdje su nepredvidljive fluktuacije nešto sasvim realno. Pri tome se prostor-vrijeme na ovakvom nivou može rastezati i kriviti, te obrazovati kompleksne forme poput tunela i mostova. Obično teoretičari opisano stanje posmatraju kao prostorno-vremensku "pjenu". U takvoj pjeni, mogu se kontinuirano rađati i umirati "mjehurići" od kojih svaki predstavlja jedan potencijalni svemir. Može da postoji beskonačno mnogo ovih mjehurića i oni bi nastajali i nestajali kvantnim fluktuacijama u jednom beskonačnom nizu.

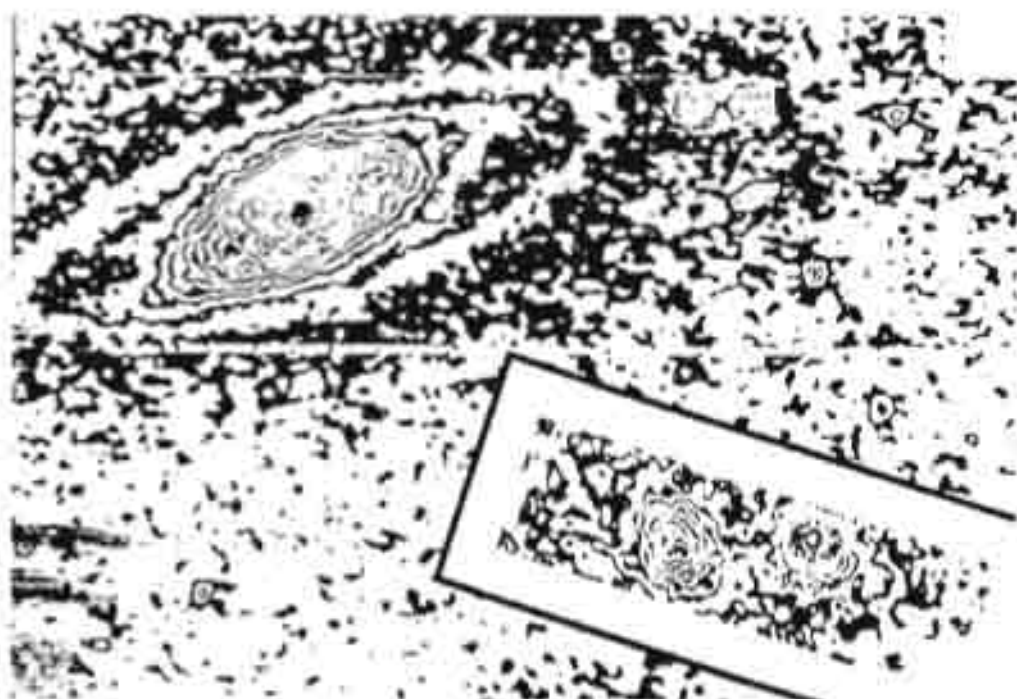
Ova teorija nazvana je **teorijom inflatornog svemira** i prvi ju je postavio **Alan Guth**. Po njoj, naš svemir je svoj život započeo kada je mjehurić imao prečnik od svega 10^{-33} cm. Nakon što se slučajnom kvantnom fluktuacijom pojavio, on se u nemjerljivo kratkom vremenskom trenutku (od 10^{-32} sekunde) prosto napuhao poput balona. Pri tome dolazi do raspada lažnog vakuuma i njegove rezerve energije se pojavljuju u vidu zračenja i energije. Ono što je posebno važno je činjenica da iz inflatorne teorije proizilazi da se svemir širi upravo posmatranom brzinom i da ima upravo onu kritičnu gustinu materije koja to širenje omogućava. Naime, tokom inflatorne faze, širenje je bilo toliko naglo da su, zbog rastezanja, sve krivine prostora-vremena praktično iščezle. Time se dobija, geometrijski gledano, ravan prostor koji odgovara teorijskom

modelu svemira sa gustinom jednakom kritičnoj.

Kao što vidimo čitav problem se svodi na to da se dobiju što precizniji podaci o stvarnoj gustini našeg svemira. Ukoliko posmatranja potvrde da je gustina univerzuma upravo tolika, tada bi se inflatorna teorija mogla uzeti kao, do sada, najvjerodostojniji model za rani svemir. Direktno mjerenje prosječne gustine materije u svemiru ne može se naravno obavljati. Mi još uvijek možemo samo vršiti bolje ili lošije procjenjivanje. Jedan dodatni veliki problem se sastoji u tome da nismo u stanju ustanoviti koliko se mase krije u tamnim objektima od kojih nam ne dopire nikakva svjetlost. Astronomi smatraju da ovakvih objekata ima jako mnogo. Među njima su i hipotetski smeđi patuljci, objekti veličine patuljastih zvijezda kod kojih nije bilo dovoljno materijala da započnu termonuklearni procesi. Hubble-ov svemirski teleskop je otkrio nekoliko ovakvih objekata. Također, danas se posmatranjima pokušava ustanoviti da

li poznati crveni pomak predstavlja efekat nastao širenjem svemira. Neki astronomi (Halton Arp), već dugo vremena pokušavaju dokazati da neki objekti, koji su prividno na nebu bliski, a posjeduju različite crvene pomake, možda imaju neku međusobnu fizičku vezu. On smatra da je našao izvjestan broj slučajeva koji potvrđuju takve sumnje. Na slici 279 dat je izodenzitogram (nastao povezivanjem tačka istog sjaja putem izofota) oblasti oko spiralne galaksije IC 1746. Lijevo od nje nalazi se kvazar PHL 1226 i jedna galaksija. Između dva posljednja objekta vidi se nešto poput mlaza materije koji ih povezuje. U okviru je data uvećano ta zona.

Oba ova objekta imaju različite crvene pomake. Uprkos ovih sumnji, u osnovi, još uvijek velika većina astronoma prihvaća shvatanje da je crveni pomak kosmološkog porijekla. To je najveće kretanje koje opažamo u poznatom svemiru i kao takvo ono ima fundamentalni karakter.



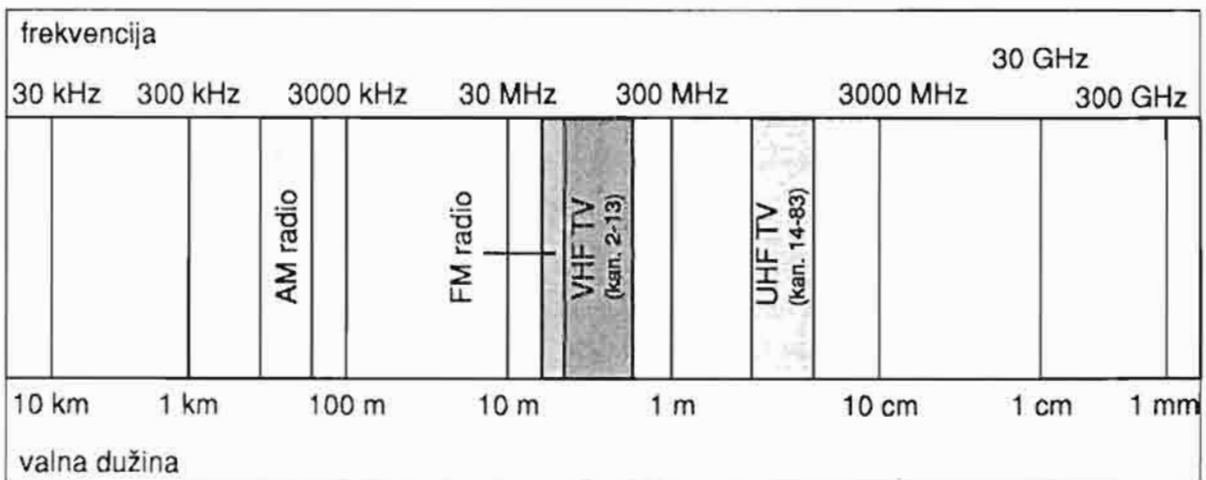
Sl.279 Izodenzitogram oblasti oko spiralne galaksije IC 1746

7. RADIO-ASTRONOMIJA

Kada je američki inženjer **Karl Jansky** 1932. godine otkrio radio-valove koji su dopirali iz smjera gdje leži središte Mliječnog Puta, on nije ni slutio da je započeo revolucionarnu promjenu u astronomiji. Probio je ono što bi smo mogli zvati "optičkom barijerom", jer su se do tada, posmatranja svemira odvijala samo u uskom dijelu elektromagnetskog spektra zvanom vidljiva svjetlost. Radio astronomija je bila prva od disciplina

koja se bavila drugim valovima koji grade elektromagnetski spektar.

Danas znamo da mnogobrojna nebeska tijela i objekti ne emitiraju isključivo vidljivu svjetlost na koju reaguje naše čulo vida. Ta svjetlost je samo dio širokog spektra elektromagnetskih valova (zračenja) što od bezbrojnih kapljica materije dopire do nas. Radio-valovi zauzimaju veoma značajno mjesto u tom elektromagnetnom spektru.



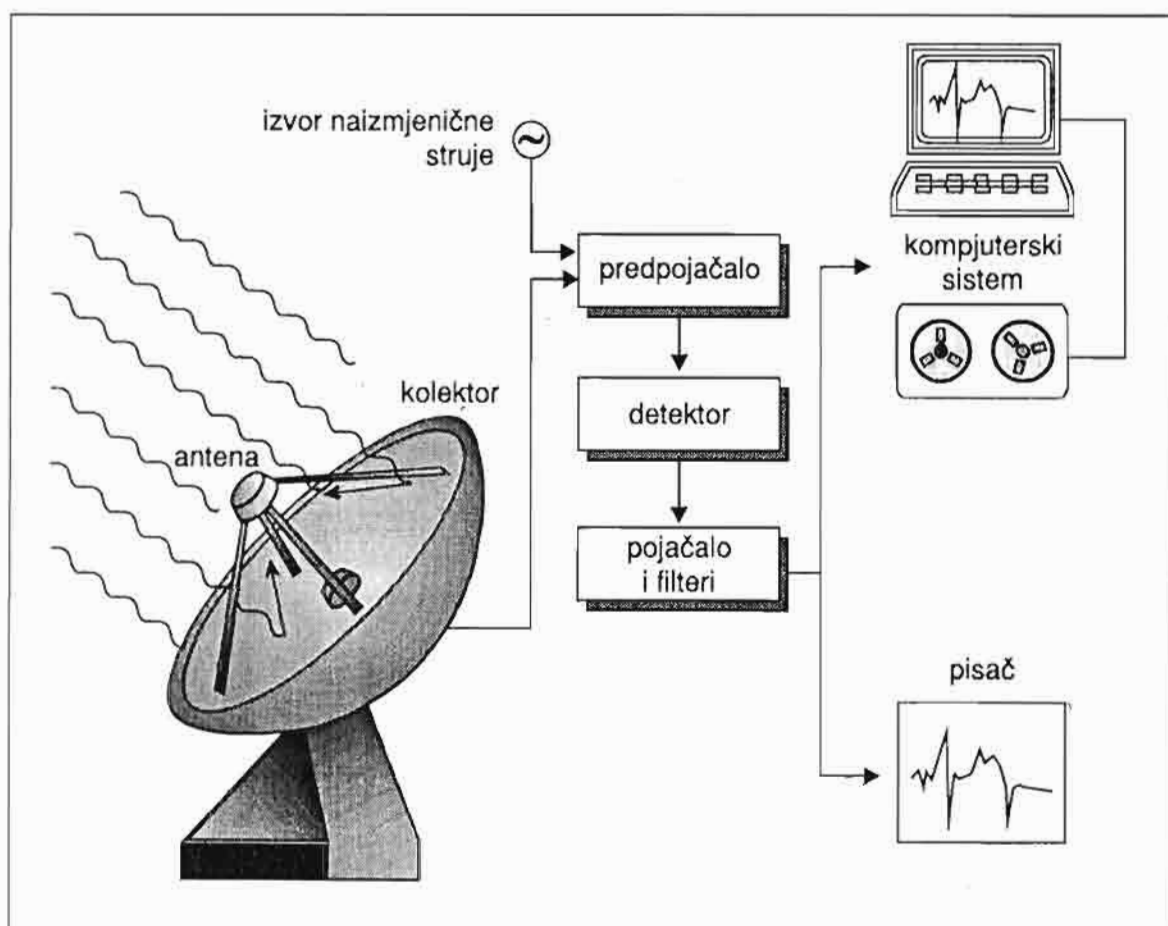
Sl. 280 Opća shema područja elektromagnetskog spektra koji zauzimaju radio valovi. Zbog ograničenog prostora crtež nije izrađen u adekvatnoj proporciji.

RADIO-TELESKOPI

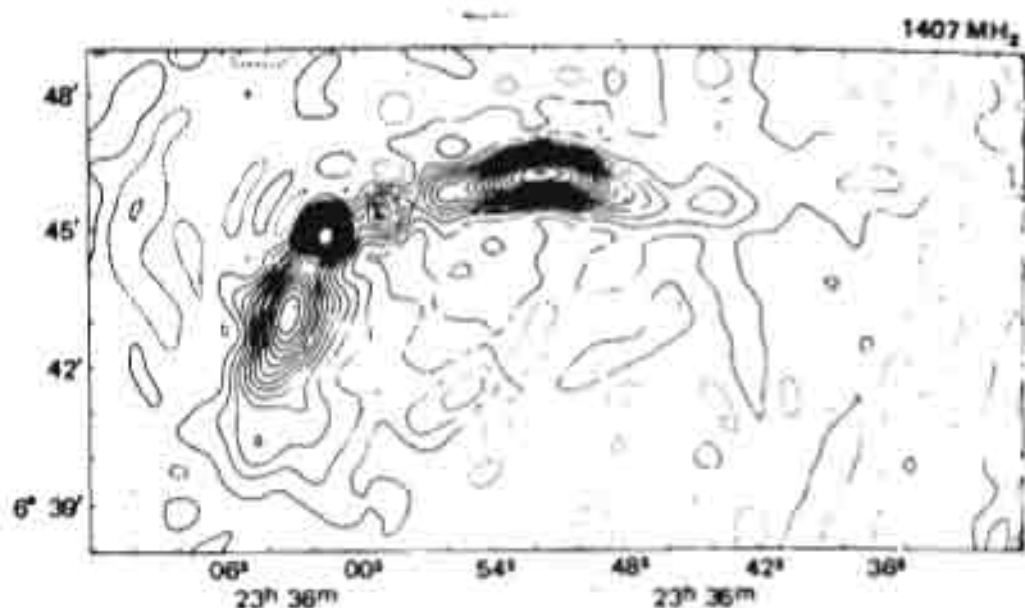
I svjetlost i radio-valovi predstavljaju identičan prirodni fenomen. Samo su valne dužine ovih manifestacija energije različite. Dok valne dužine svjetlosti mjerimo stotimilionitim dijelovima centimetra, dotle, kada se radi o radio-valovima govorimo o centimetarskim, metarskim, pa i kilometarskim dužinama. Da bi detektirali radio-valove, astronomi koriste velike antene. Principijelno gledano, nema nikakve razlike između jednog radio-teleskopa i običnog radio-prijemnika. Oba su namijenjena za prijem radio-valova, s tom razlikom, što radio-aparatom primamo vještačke izvore, tj. radio-stanice. Signali koji dopiru iz svemira su slabi i zbog toga je neophodno korištenje velikih antena.

U praksi se susrećemo sa dvije osnovne konstrukcije radio-teleskopa. U prvom slučaju radi se o nepomičnim antenama, često cijelom sistemu antena sličnih televizijskim, koje prekrivaju veću površinu na tlu. Drugi tip konstrukcije koristi velike udubljene kolektorske posude paraboloidnog oblika kojima se prikupljaju radio-valovi i šalju u fokus. U fokusu je smještena antena. Sa nje se signal vodi do veoma osjetljivog prijemnika i kompjuterskog sistema koji registrira i memoriše primljene signale.

Ponegdje se koristi i treća vrsta konstrukcije gdje se radio-teleskop sastoji od pojedinačnih ravnih metalnih ogledala raspoređenih tako da tvore "prsten" isječen iz paraboloida. Ruski sistem **RATAN-600** je izrađen na taj način. sastoji se od 900 metalnih ploča



SI.281 Shema radio-teleskopa i priključnih uređaja



Sl.282 Radio-konturna mapa radio-izvora 3C 465, dobijena radio-teleskopom u Cambridge-u na frekvenciji od 1407 Mhz (valna dužina od 21 cm). Dva križića označavaju položaj radio galaksije NGC 7720.

dimenzija 2 x 7,4 m koje su raspoređene u prstenu prečnika 600 metara. Američki radio-teleskop u **Arecibo**-u (Puerto Rico) također je nepomičan. On je u stvari popločani krater ugaslog vulkana. Antena smještena u fokusu zdjele može se pomjerati, pa se ovim, i sličnim teleskopima mogu posmatrati i objekti koji nisu, strogo govoreći, u oblasti zenita.

Pokretni teleskopi imaju paraboloidne kolektore zračenja koji posjeduju mehanizam kojim se mogu pomjerati i pratiti izvor radio-valova na nebu.

Jasno je da radio-astronomi, bukvalno govoreći, ne slušaju zvukove što dopiru iz svemira. Svi ti signali koji se primaju, pretvaraju se u elektronske impulse koje kompjuteri memorišu, obrađuju i kasnije prikazuju na adekvatan način.

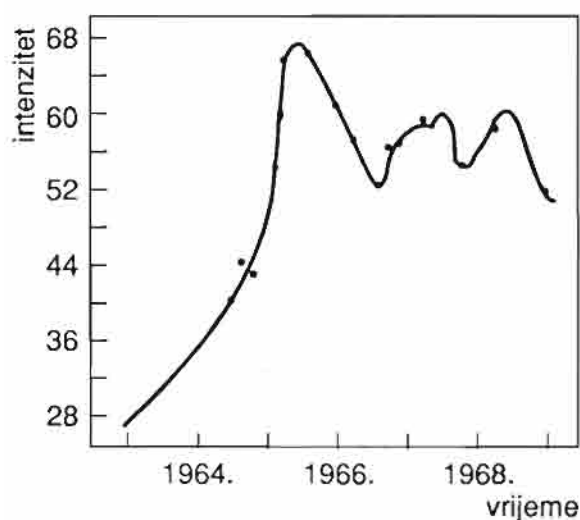
Radio-teleskopi rade na slijedeći način. Udubljena površina kolektora prima valove iz svemira i šalje ih ka anteni smještenoj u fokusu. Antena nije ništa drugo do provodnik kroz koji

teče struja proizvedena upadnim radio-valovima. Ta struja teče dalje ka laboratoriji gdje su smješteni različiti elektronski uređaji i sami radio-astronomi. Prvi sklop do koga ovi elektronski impulsi dolaze možemo posmatrati kao radio prijemnik. Pošto su signali vrlo slabi, neophodno je pojačati ih i "očistiti". Na kraju, signal dolazi do kompjutera koji ga memoriše i vrši dalju obradu.

Radio-teleskopima se može mjeriti promjena jačine signala do koje dolazi pomjeranjem radio-teleskopa po određenoj oblasti neba. Radio-izvori imaju većinom veće razmjere i nisu jednako "sjajni" u svim tačkama. Takvim mjerenjima dobijamo konturnu kartu izvora. Obično je na vertikalnu osu takve karte nanesena deklinacija, a na horizontalnu rektascenzija tačaka istraživane zone.

Drugi koristan podatak koga možemo dobiti radio-teleskopima je promjena intenziteta zračenja u odnosu na valnu dužinu. Tako neki radio-izvor može biti "sjajniji" u nekim valnim

dužinama, nego u drugim. Moguće je mjeriti i polarizaciju primljenih radio-valova. Tu polarizaciju možemo najlakše shvatiti ako napravimo analogiju sa TV antenama. One su postavljene horizontalno jer su ti signali polarizirani tako da im je maksimum u horizontalnoj ravni. Na kraju, moguće je mjeriti promjenu intenziteta nekog izvora sa vremenom. Primjeri takvih izvora su pulsari, kvazari itd.



Sl. 283 Promjena intenziteta kvazara 3C 273 mjerena u periodu od 5 godina.

Danas u svijetu postoji veliki broj radio-teleskopa. Pored pomenutih nepokretnog tipa, značajni su pokretni kao što je onaj u Jodrell Bank-u (V. Britanija) sa djelom prečnika 76 metara, te Effelsberg-u (Njemačka) koji ima prečnik od 100 metara.

Slaba moć razdvajanja bila je u počecima radio-astronomije najveći problem. To je posebno otežavalo identifikaciju pojedinih izvora odnosno njihovo poistovjećivanje sa nekim optički vidljivim objektima. Pravljenje pokretnih teleskopa većih prečnika je tako složen inženjerski problem da to nije bio put za rješavanje ovih problema. U nekom kvadratiću na nebu na



Sl. 284 Radio-teleskop prečnika 100 metara u Effelsberg-u kod Bonn-a (Njemačka).

koji je usmjeren radio-teleskop, mogu se nalaziti na desetine i stotine "sumnjivih" objekata. Da bi povećali preciznost radio-teleskopa, astronomi su kao prvi metod počeli koristiti prekrivanje izvora Mjesecom. Prateći promjenu intenziteta zračenja nekog radio-objekta izazvanu ovakvom okultacijom, bilo je moguće dosta precizno odrediti položaj izvora. Broj izvora koje Mjesec može prekriti nije velik, pa je za druge slučajeve trebalo pronaći nove metode.

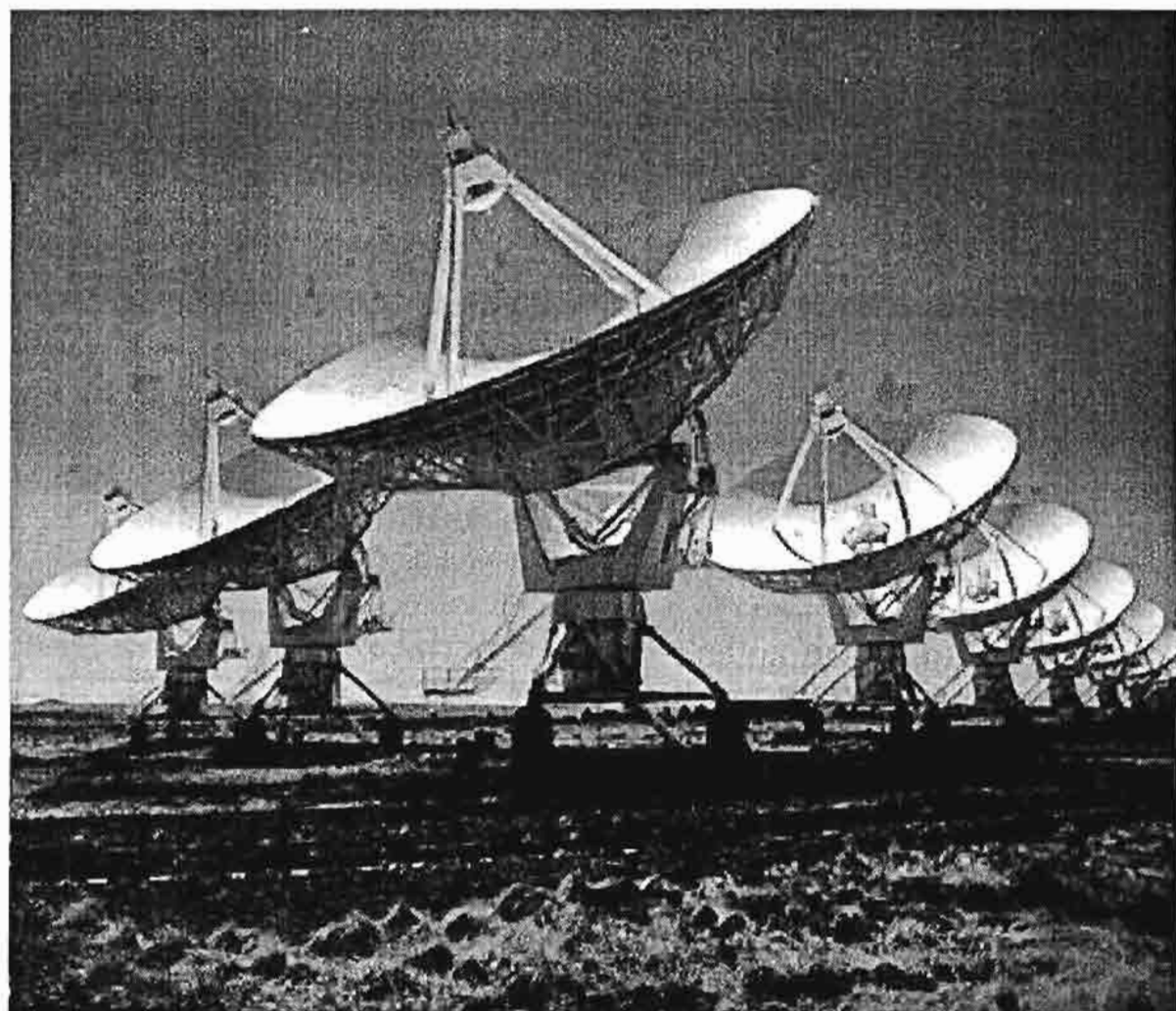
Jedan od prvih uspješnih načina kojima je povećana preciznost radio-teleskopa bila je, tzv. sineza na bazi rotacije Zemlje (**Earth-rotation synthesis**) koju je razradio britanski astronom **sir Martin Ryle** iz Cambridge-a. Koriste se dva ili više radio teleskopa povezanih kompjuterski. Ukoliko

su, gledano iz pravca nekog izvora, teleskopi postavljeni na liniji istok-zapad tada će jedan od njih, u odnosu na drugi, da putuje praveći polukrug za 12 sati. Linearnim pomjeranjem radio-teleskopa dobija se kompletna polovina jedne "sintetizirane zdjele" radio-teleskopa. Druga polovina se može kompjuterski "dodati" i konačni rezultat koji je Ryle dobio 1972. godine bio je radio-teleskop efektivnog prečnika od 5 kilometara. On je tada koristio 8 radio-teleskopa.

I ovaj sistem ima svoja ograničenja. On omogućava posmatranje

radio izvora koji se nalaze oko sjevernog ili južnog nebeskog pola. Kada se spuštamo dalje, pojavljuju se poteškoće koje ne dozvoljavaju primjenu ovog metoda.

Rješenje je nađeno u postavljanju još više radio-teleskopa i to ne samo u smjeru E-W, nego i u smjeru N-S. Prvi takav veliki sistem bio je američki **VLA** (**V**ery **L**arge **A**rray ili Velika Strijela). Smješten je u pustinji Novog Meksika. VLA se sastoji od 27 zdjela, od kojih svaka imja prečnik 25 metara. Moguće je pomjerati svaki od tih radio-teleskopa po šinama koje su u obliku



Sl. 285 Sistem radio-teleskopa "Very Large Array" u USA (New Mexico)

slova Y. Cjeli sistem je ekvivalentan jednom radio- teleskopu prečnika 36 kilometara. Ovim je preciznost povećana do te mjere, da recimo, na valovima od 1,3 cm, VLA može da razdvoji detalje prečnika 0,13 ugaonih sekundi što je gotovo tisuću puta bolje od ljudskog oka i desetak puta preciznije od ma kog optičkog teleskopa postavljenog na Zemlji.

U Velikoj Britaniji koja ima veliku tradiciju u radio astronomskim istraživanjima, uspostavljen je sistem poznat kao **MERLIN** (**M**ulti-**E**lement **R**adio-**L**INKed) gdje se dobija efektivni prečnik sintetiziranog radio-teleskopa od 133 kilometra. Rezolucija na valnoj dužini od 1,3 cm, u ovom slučaju iznosi oko 0,02 uglovnih sekundi.

Kasnije se prešlo na korištenje cijele planete kao jednog sintetičkog radio-teleskopa. Pri tome se koriste međusobno veoma udaljene radio-opservatorije, a njihovi teleskopi se kompjuterski povezuju i usmjeravaju na isti izvor. Ovakva posmatranja su u praksi poznata kao **VLBI** (**V**ery **L**ong **B**aseline **I**nterferometry). Iako ovi sistemi imaju neka ograničenja, za određeni tip istraživanja oni pružaju izuzetne rezultate. Najmoderniji sistem je nazvan **VLBA** (**V**ery **L**ong **B**aseline **A**rray) koji koristi 10 antena raspoređenih po cijeloj planeti, od Kariba do Havaja. Uglovna rezolucija ovog sistema ide do fantastičnih 0,0001 sekundi. Tu je negdje i granica zemaljskih sistema, pa je slijedeći korak korištenje satelita koji bi povećali osnovicu i time moć razdvajanja. Za sada su ovakvi projekti u povoju. Ovako visoka rezolucija omogućava istraživanja koja su nedostupna optičkoj astronomiji u smislu prave anatomije nekog radio izvora.

RADIO-IZVORI U SUNČEVOM SISTEMU

Sunce, koje je nama najbliža zvijezda, prvo je tijelo na koje možemo obratiti pažnju. Sunčeva korona, vidljiva golim okom tokom totalnih pomračenja Sunca, nije nevidljiva za radio-astronome. Ovaj divovski oblak elektrona i drugih čestica, sa temperaturom od oko milion stepeni, odaje snažno radio zračenje. Također, u pojedinim periodima, pored stalnog zračenja tzv. "mirnog sunca", u doba maksimalne aktivnosti sunčevih pjega možemo registrirati radio-bljeskove. Radi se o pojavi sličnoj bljeskovima u optičkom dijelu spektra. Tada snopovi čestica prodiru u koronu i uzrokuju pojavu radio-bljeskova. I same pjege mogu biti uzročnici iznenadnih radio-šumova.

Od ostalih članova Sunčevog sistema, veoma zanimljiv izvor je planet Jupiter. Ovaj planet je prilično "sjajan" na radio nebu. On zrači najviše u centimetarskim valovima, a kod njega povremeno, na fonu stalnog zračenja, dolazi do pojave radio-bljeskova.

Kao jedna posebna disciplina radio-astronomije, pojavila se **radarska astronomija**. Radio-signal se pomoću radio-teleskopa smještenog na Zemlji ili na nekom satelitu šalje prema posmatranom objektu. Zatim se ponovo "hvata" njegova refleksija koja nastaje odbijanjem od površinu posmatranog objekta. Tako se recimo, radari najnovije generacije, kakav je onaj na letjelici "Magellan" koriste se za precizno kartografiranje površine planete Venere koja je skrivena veoma gustim oblacima njene atmosfere.



Sl.286 Raspored spiralnih krakova naše galaksije Mliječnog Puta nacrtan na osnovu radio-astronomskih posmatranja zračenja vodika valne dužine 21,2 cm.

GALAKTIČKI RADIO-IZVORI

Za astrofiziku su od posebnog značaja radio-izvori koji leže daleko van granica našeg planetskog sistema. Potrebno je znati da radio-valovi mogu da nastanu na dva osnovna načina. Najčešći izvor radio-valova je **termalna emisija** gdje se oni javljaju uslijed sudara elektrona koji se kreću u svakom tijelu brzinom koja ovisi od

temperature. Stoga radio-teleskope možemo smatrati nekom vrstom termometara, jer, mjereći radio-valove nastale termalnom emisijom, mi u stvari mjerimo temperaturu tih objekata. Drugi tip radio-valova nastaje na netermalni način i naziva se sinhrotronsko zračenje. Ovo zračenje nastaje uslijed kretanja veoma brzih, relativističkih elektrona (tj. elektrona koji se kreću brzinama bliskim brzini svjetlosti) i to kada se nalaze u snažnim magnetskim poljima.

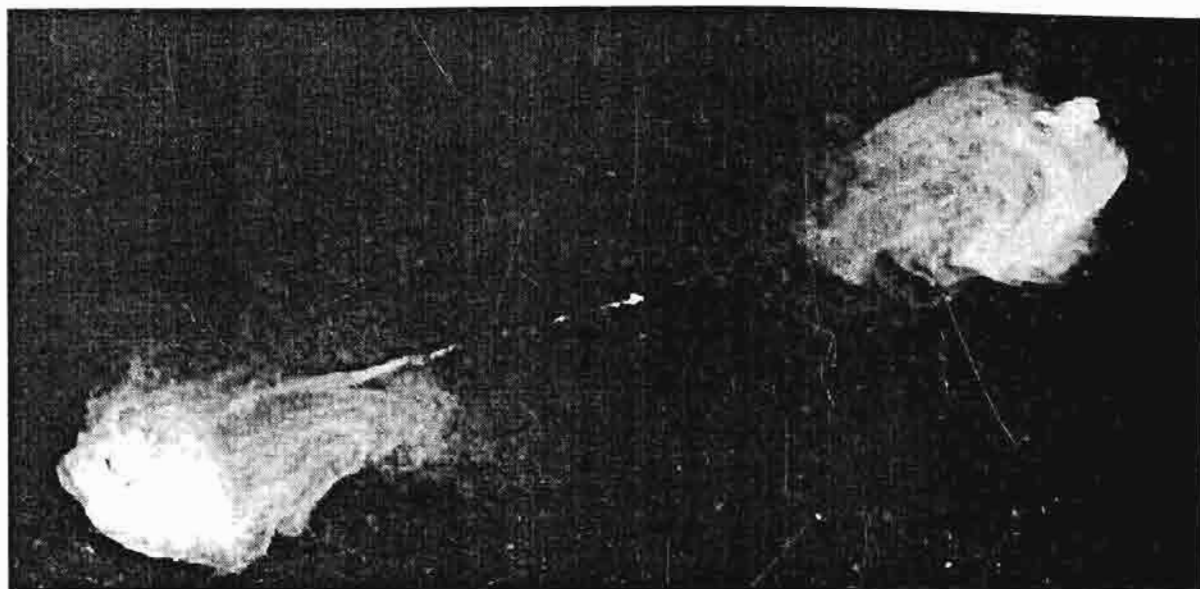


Sl.287 Radio izvor Cygnus A kod koga se vjerovatno radi o eksploziji u jezgru te galaksije.

Mliječni Put, čije milijarde zvijezda obrazuju magličastu traku preko neba, sadrži ogroman broj različitih radio-izvora. Konačno, radio-astronomija je i nastala otkrićem općeg šuma središta naše galaksije. Najveći doprinos ukupnom pozadinskom zračenju našeg zvjezdanog sistema daju divovski oblaci međuzvjezdanog vodika. Kada su ovakvi oblaci daleko od zvijezda, tada je njihova temperatura bliska apsolutnoj nuli. Atomi su im tada u neutralnom stanju i sastoje se od protona i elektrona koji rotira oko njega. I elektron i proton posjeduju vlastitu rotaciju koju posmatramo kao spin. Elektron može spontano i iznenada da promijeni smjer rotacijem odnosno da mu spin, u odnosu na spin protona, bude suprotnog smjera. Za usamljeni atom, ovakva pojava se dešava jednom u 11 miliona godina. Međutim, ako imamo dovoljan broj atoma, a to je slučaj u međuzvjezdanim oblacima, tada se promjena spina

dešava jednom u 400 godina. Pri tome, atom ima neznatno više energije ako elektron i proton imaju isti spin (paralelan). Prelaskom na suprotan spin (antiparalelno stanje) atom zrači neku malu količinu energije. Emituje se radio-val sa dužinom od 21,2 cm U ogromnom broju atoma u oblaku vodika, u svakom trenutku će dovoljan broj njih da obrne spin i doći će do uočljivog odašiljanja radio-valova.

U zavisnosti od smjera u kome su rotirali elektron i proton oko svojih osa, može doći do emisije ili apsorpcije radio-vala. Posmatranja međuzvjezdanog neutralnog vodika daju nam podatke o totalnom broju atoma u oblacima, temperaturi, udaljenosti i dimenzijama oblaka. Moguće je pratiti i kretanja masa vodika zahvaljujući Doppler-ovom efektu. Time su se dobile predstave o rotaciji Mliječnog Puta na raznim udaljenostima od centra. Moguće je time istraživati raspored spiralnih krakova i dobiti opću



Sl.288 Radio-slika izvora Cygnus A. U centru je pločaj optičkog objekta. Najsnažnija zračenja zračenja dolaze iz dvije dijametralno postavljene oblasti što je čest slučaj u radio-astronomiji.

sliku izgleda naše galaksije kakvu bi smo mogli dobiti samo kada bi smo izašli iz nje na dovoljnu udaljenost.

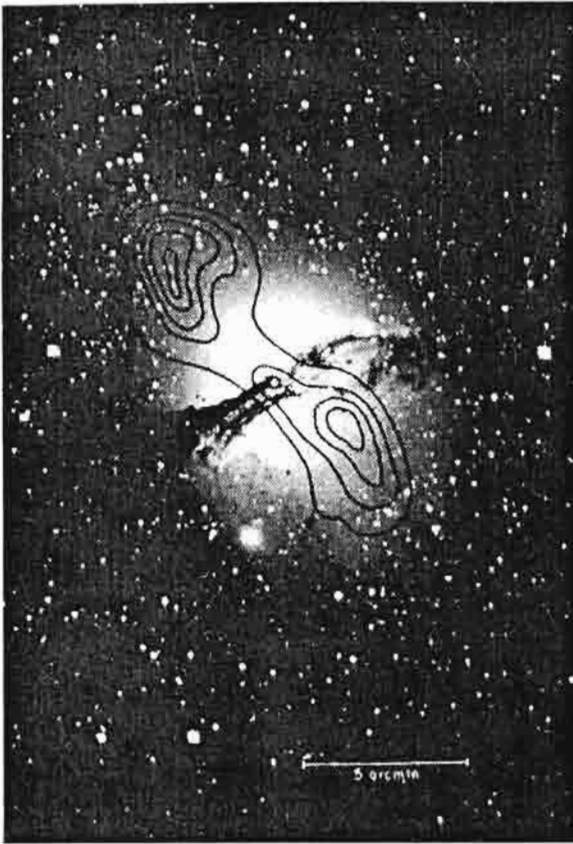
Pokazalo se da među najjače izvore radio-zračenja u Mliječnom Putu spadaju ostaci eksplozija supernovih. Pored već poznate Krab magline, postoje i drugi slični izvori. Johannes Kepler je 1572. godine posmatrao i opisao pojavu jedne takve zvijezde, a 1604. godine Tiho de Brahe, posljednji veliki posmatrač predteleskopske ere astronomije, prati i drugu, posljednju takvu eksploziju u našoj galaksiji. Trebalo je čekati sve do 1987. godine kada je eksplodirala jedna dovoljno bliska supernova (u Velikom Magellanovom oblaku). Ostatak eksplozije u Kasiopeji, izvor nazvan **Cassiopeia A** je jedan od najjačih izvora na radio-nebu. Udaljen je od nas oko 10 000 svjetlosnih godina.

Radio-astronomi su otkrili i mnogobrojne spojeve u svemirskom prostoru. Posebno su bila značajna otkrića spojeva kao što su hidroksil, voda, amonijak, te raznih organskih molekula poput metil i etil alkohola itd.

VANGALAKTIČKI RADIO-IZVORI

Mnogi od uočenih radio-izvora u početku, a neki ni do danas, nisu mogli biti poistovjeđeni sa nekim objektom koga na istom mjestu opažamo u optičkom dijelu spektra. Vangalaktički objekti su u optičkom diapazonu po pravilu i slabog sjaja. Historijski gledano, izuzetno mjesto među ovim izvorima zauzima objekat nazvan **Cygnus A** ili **Labud A**. Još 1951. godine, interferometrijski je utvrđen njegov približan položaj. Walter Baade, veliki američki astronom je obavio snimanje te zone neba na kojoj se približno mogao locirati radio-izvor. Na snimcima je među mnogim objektima zapazio neobičnu galaksiju koja mu je ličila na spoj dvije galaksije u sudaru.

Odmah se pojavilo objašnjenje da se najvjerojatnije radi o sudaru dvije galaksije gdje se u stvari sudaraju ogromni oblaci međuzvezdane materije i time nastaju radio-valovi. Danas se pretpostavlja da se radi o nekoj vrsti

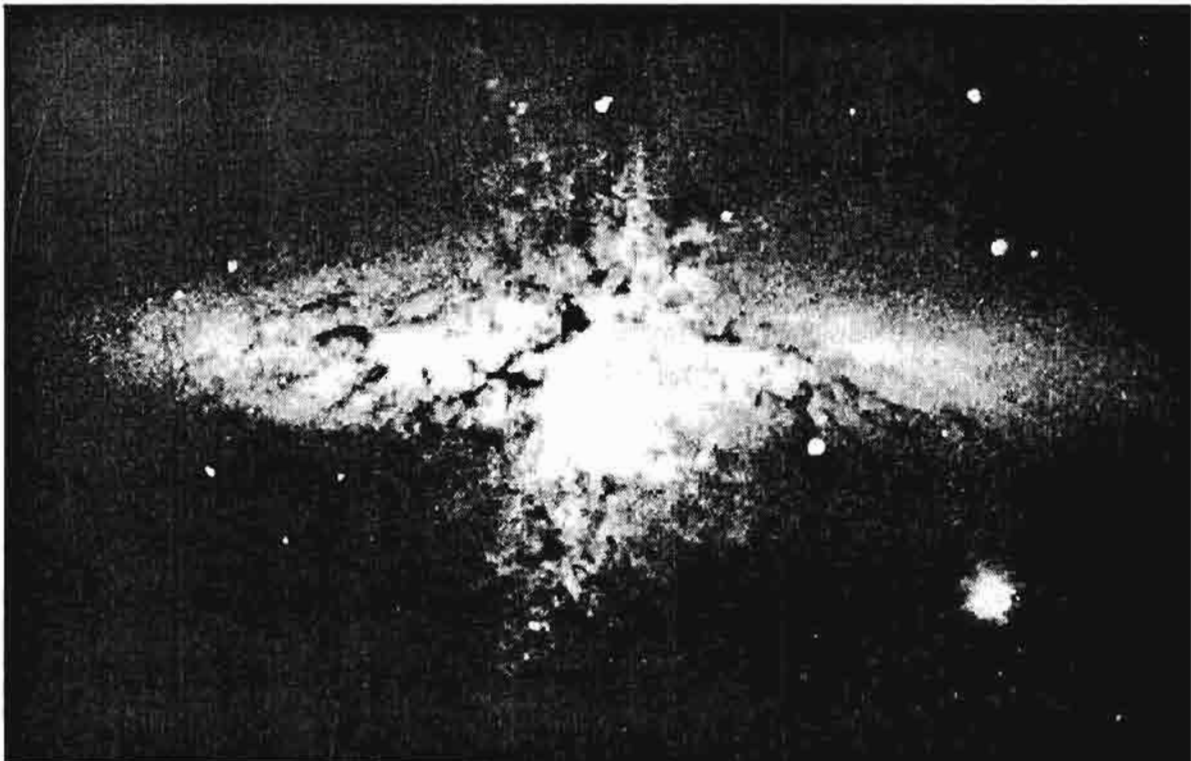


SI.289 Centaurus A ili NGC 5128 je radio-galaksija u sazviježđu Kentaura. Ovdje je dat izgled objekta u optičkom dijelu spektra, a preko njega je ucrtan raspored zračenja radio-valova. Ova galaksija je ujedno i snažan rentgenski izvor.

eksplozije u jezgru usamljene galaksije, koje se pri tome cijepa na dva dijela. Struktura radio-izvora je takva da zračenje dolazi iz dvije oblasti, simetrično postavljene u odnosu na galaksiju.

U svijetu galaksija otkriveni su brojni objekti koji emituju radio-valove. Obične galaksije imaju slabo radio-zračenje koje se može detektirati samo kod onih bližih. Interesantan izvor je galaksija M87 poznata kod radio-astronoma kao **Virgo A**. Ova eliptična galaksija smještena u sazviježđu Djevice udaljena je oko 33 miliona svjetlosnih godina. Na snimcima ove galaksije opaža se cilindrični mlaz materije koji je, očigledno, nekom vrstom eksplozije, izbačen iz središnjih oblasti. Taj mlaz zrači polariziranu svjetlost. Sastoji se iz više pojedinačnih zgušnjena i pored radio-valova, on zrači i u rentgenskom dijelu spektra.

Relativno bliska galaksija M82 karakteristična je po divovskoj



SI. 290 Galaksija M82 u kojoj se odvija divovska eksplozija (snimak Hale Observatorijes).

eksploziji koja se dešava u njenom jezgru. Ogromne mase vodika udaljavaju se velikim brzinama iz centralnih zona. To se posebno dobro opaža na snimcima načinjenim u svjetlosti vodikove linije $H\alpha$ gdje se opažaju vlakna nastala eksplozijom.

Kvazari

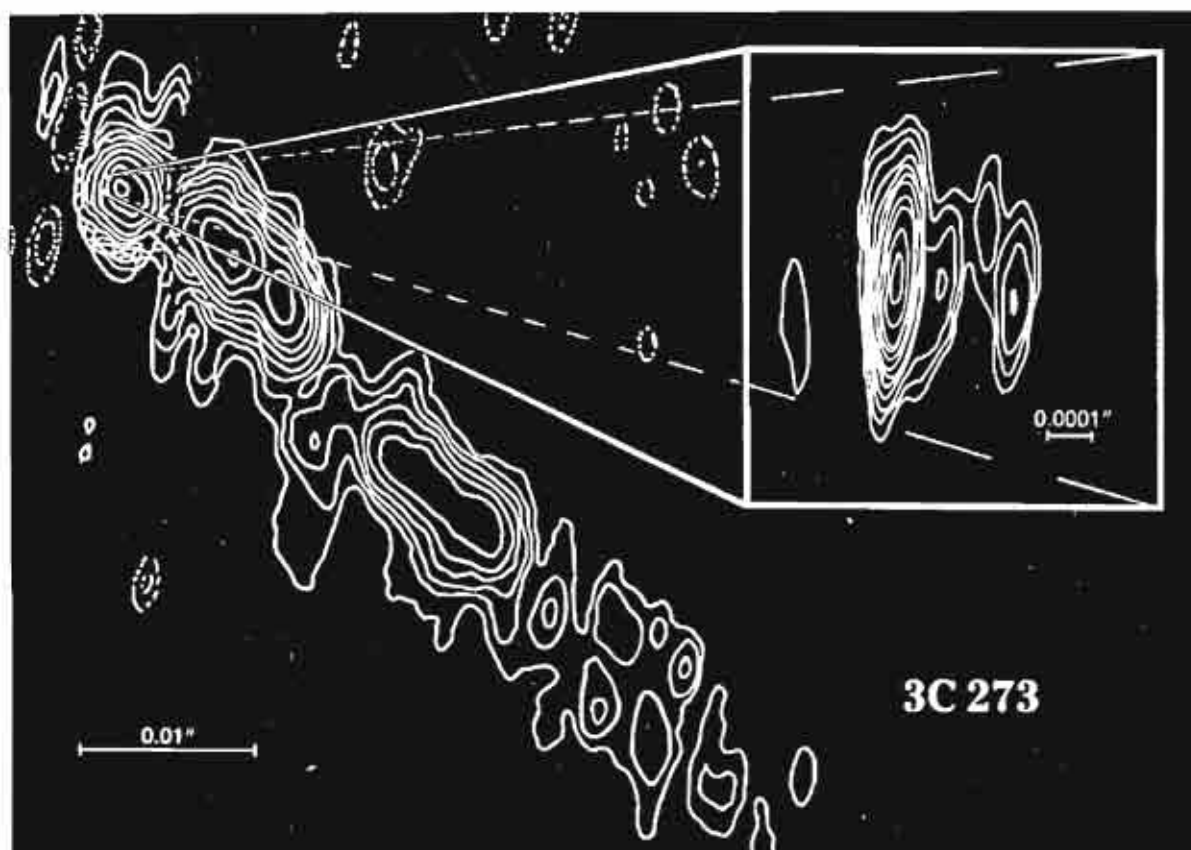
Kao posebna vrsta vangalak-tičkih izvora radio zračenja i svemirskih objekata uopće, pojavljuju se kvazari. Ime su dobili od engleskog izraza za "tobožnje zvjezdane objekte" odnosno "quasi stellar objects". Otkriveni su zahvaljujući radio-astronomskim istraživanjima početkom šesdesetih godina. Naime, jedan dio radio-izvora nije mogao biti identificiran sa nekim optički vidljivim objektima. Na snimcima su se mogle opaziti zvijezde i galaksije ali nije bilo mogućnosti, zbog slabe preciznosti tadašnjih instrumenata, da se odredi od kojeg objekta dopiru radio-valovi. U toku 1961-1962.

godine, posmatranja oblasti gdje se približno nalazi radio izvor **3C 273** pokazala su da iz jednog zvjezdolikog objekta, koji se nalazio na mjestu izvora, izlazi tanki mlaz materije, sličan onome koga smo opisali kod galaksije M 87. To je izgledalo neobično samo po sebi jer nema zvijezda kod kojih je moguće opaziti takve anomalije. Prelazak Mjeseca ispred izvora utvrdio je koordinate i pokazao da se taj radio-izvor sastoji od dvije komponente koje su na rastojanju oko 20 uglovnih sekundi jedna od druge.

Kada su načinjeni spektri ovog i još nekoliko sličnih tačkastih izvora, pokazalo se da sadrže široke emisione linije kakve obične zvijezde, sem u specijalnim slučajevima, nemaju. Osnovni problem koji se odmah pojavio bio je taj da nije bilo moguće izvršiti identifikaciju tih linija. **Maarten Schmidt** je došao na jednostavnu pretpostavku da je možda crveni pomak uzrok neprepoznatljivosti



Sl.291 Snimak kvazara 3C 273 načinjen na opservatoriji Mt.Palomar



Sl.292 Radio-slika kvazara 3C 273 načinjena pomoću radio-teleskopskog sistema VLBI. U izdvojenom kvadratu prikazano je radio-zračenje centralnih oblasti kvazara sa fantastičnom rezolucijom od 0,0001\".

spektara. Čim je to primjenio na izvoru 3C 273 odmah je uspio identificirati poznatu vodikovu seriju spektralnih linija. Pokazalo se da crveni pomak ovog objekta iznosi 0,158. Dakle, radi se o vngalaktičkom objektu. On bježi od nas brzinom od $48\ 000\ \text{kms}^{-1}$, odnosno udaljen je oko 2 milijarde svjetlosnih godina.

Detaljnija fotoelektrična posmatranja kvazara ukazala su da oni mijenjaju sjaj u periodu od nekoliko dana što je vodilo zaključku da im dimenzije ne bi mogle biti velike jer se ni jedan proces ne može odvijati brzinom većom od brzine svjetlosti.

Sjajiniji kvazari, poput pomenutog 3C 273 (prividni sjaj oko 13^m) pronađeni su u kolekcijama fotografskih ploča raznih opservatorija. Tako se ustanovilo da se u toku 80 godina sjaj ovog objekta mijenjao nepravilno.

Nakon otkrića prvih kvazara, razrađeni su i drugi metodi za njihovo otkrivanje. Tako se lako otkrivaju kada se snimanja vrše u plavom i ultraljubičastom dijelu spektra. Otkriveni su kvazari koji odašilju vrlo slabe radiovalove. Tako su neki kvazari i do 100 puta slabiji od nekih izrazito snažnih izvora ovog tipa. Također, u spektrima nekih kvazara opažene su i apsorpcione linije. Njihovo prisustvo ukazuje na postojanje hladnijeg materijala oko kvazara u kome se upijaju pojedine valne duljine.

Od samog otkrića kvazara vodene su polemike o mogućim izvorima energije koji ih "pogone". Savremena razmišljanja idu za tim da je najvjerovatniji izvor energije kvazara masivna crna jama u njegovom središtu. Prema tim teorijama, kvazari su daleke galaksije u čijim su se jezgrima

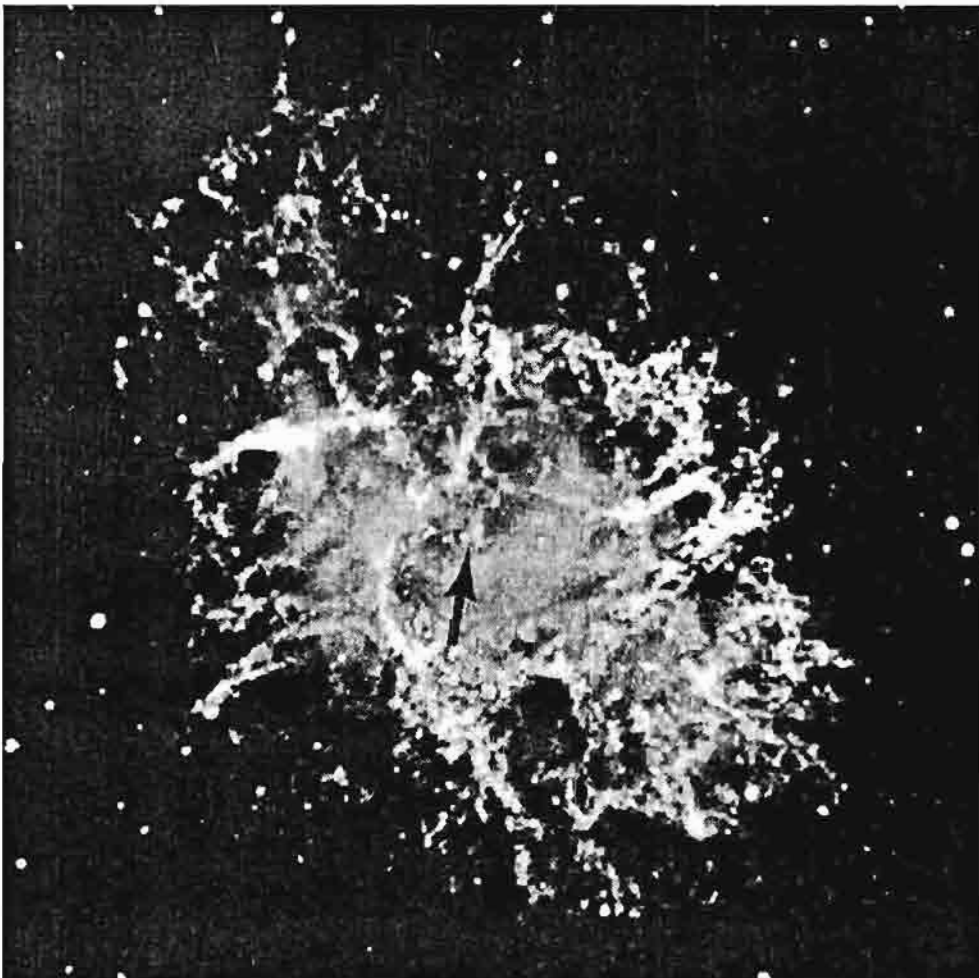
formirale divovske crne jame. Među-zvezdani materijal, plin i prašina, padaju ka jami i formiraju oko nje oblak koga nazivamo akrecioni disk. U tom disku se materija spiralno vrti oko središnje crne jame padajući ka njoj. Pri tome se ona zagrijava i dostiže ogromne temperature zračeći intenzivno u svim dijelovima spektra. Vrući plin je, fizički gledano, u stanju plazma pa se formira i magnetsko polje. Duž sjevernog i južnog pola magnetskog polja materijal struji u vidu dva diametralno usmjerena mlaza.

Iz svega ovoga možemo zaključiti da je gravitacija izvor energije kvazara, odnosno, tačnije rečeno, to je gravitaciona energija koja se oslobađa padom materije na crnu jamu. Ovo je najvjerojatniji scenario prema savremenim astrofizičkim spoznajama.

PULSARI - NEUTRONSKE ZVIJEZDE

Pulsari su posebna vrsta zvijezda ogromne gustine, malih prečnika i izuzetno snažnih magnetskih polja. Do njihovog otkrića došlo je sasvim slučajno. **Antony Hewish** i njegov student, **Jocelyn Bell** planirali su da istraže brza treperenja nekih kvazara (promjene sjaja koje nastaju zbog oblaka ioniziranog plina u Sunčevom sistemu). Pomoću radio-teleskopa Univerziteta u Cambridge-u (Vel. Britanija), opazili su pravilne erupcije radio-valova koje su poticale od jednog tačkastog izvora smještenog na granici sazviježđa Vulpecula i Sagitta.

Signali su stizali u vidu kratkih pulseva. Mислеći da se radi o porukama



SI.293 Pulsar u Krab maglini (označen je strijelicom)

neke vanzemaljske civilizacije, oni su svoje otkriće držali u tajnosti čitavih šest mjeseci. Jer, svi do tada opaženi radio-izvori zračili su manje više kontinuirano, bez naglih promjena u intenzitetu. Ovdje se radilo o promjenama u periodu od oko jedne sekunde. Kada je otkriveno još nekoliko ovakvih izvora, bilo je jasno da pretpostavka o vještačkom porijeklu emisija, otpada. Objekti su nazvani pulsarima.

Periodi između pojedinih pulseva su izuzetno pravilni. Tako prvi otkriveni pulsar, objekat CP 1919, ima period između dva pulsa 1,33730113 sekunde. U poznatom ostatku eksplozije supernove u sazviježđu Bik, otkriven je pulsar. Vrlo brzo pulsari su povezani sa jednim ranije načinjenim teorijskim modelom tzv. neutronske zvijezde. Neka zvijezda, sa masom nešto većom od mase Sunca, može u procesu svoje evolucije da završi kao neutronska zvijezda. Pri tome čitava njena materija prelazi u neutronske stanje. Elektroni prodiru u jezgre i spajaju se sa protonima tako da je čitava materija jednog ovakvog objekta građena od neutrona. Za ovakav proces neophodne su enormno velike energije, a njih mogu proizvesti eksplozije supernovih. Prosječna gustina materije neutronske zvijezde je jednaka gustini atomske jezgre. Ovakve zvijezde imaju male radiuse koji se kreću od 10 do 30 km. Prilikom tog naglog, katastrofalnog skupljanja, zvijezda, težeći da zadrži momenat količine kretanja, strahovito povećava brzinu svoje rotacije. Zbog toga se pulsari okrenu jednom za oko 1 sekundu, u prosjeku.

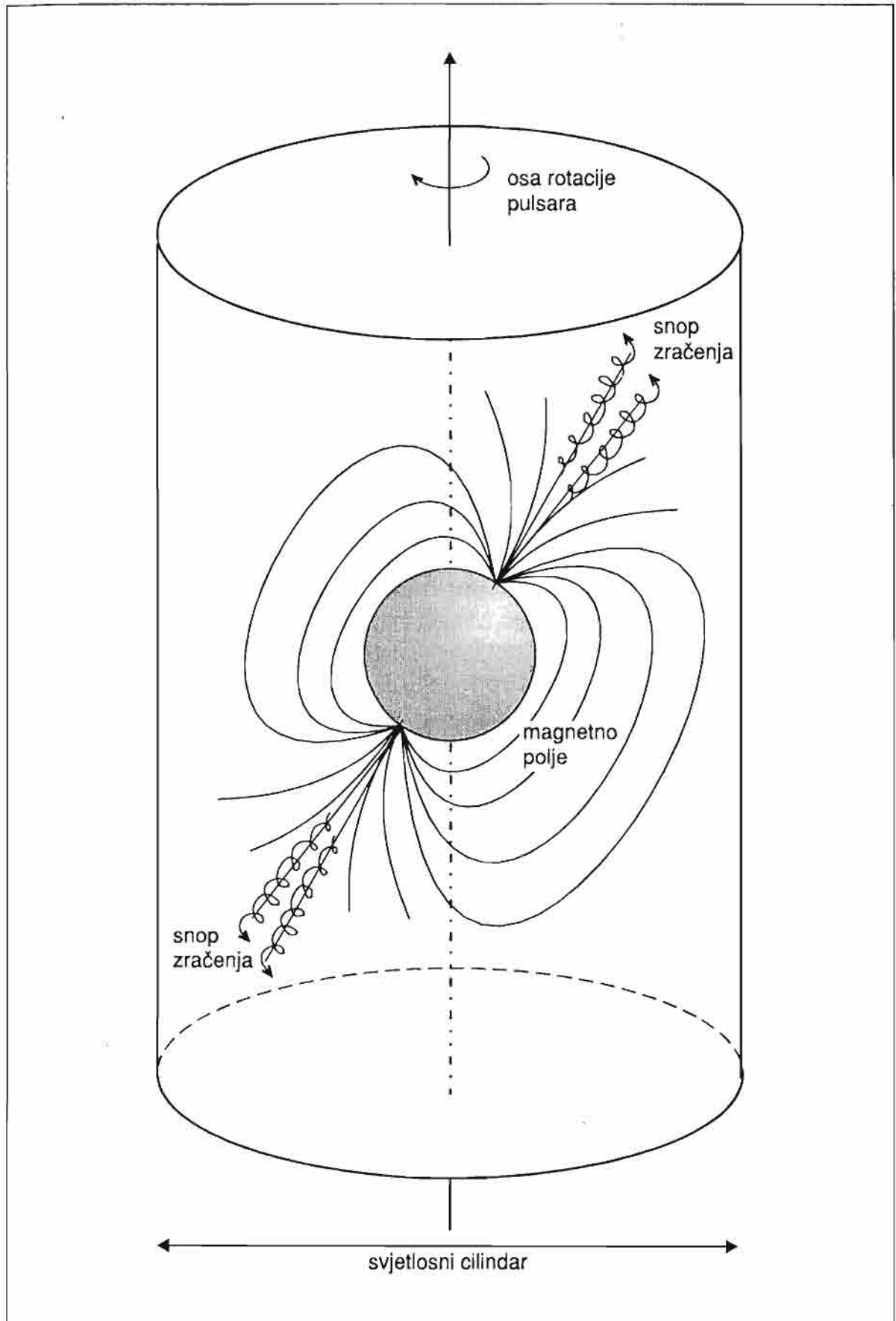
Temperatura na površini ovih objekata iznosi desetak miliona stepeni i najveći dio zračenja dolazi iz oblasti rentgenskog dijela spektra. Ovo

je potvrđeno istraživanjima u ovom području.

Nekim istraživačima je palo na um da bi pulsari mogli da zrače i u vidljivom dijelu spektra. Za provjeru ove zamisli izabran je pulsar u Krab maglini. Ispred teleskopa je postavljen rotirajući zaslon čija se brzina okretanja mogla kontrolirati. Kada je postignuta sinhronizacija u odnosu na pretpostavljeni period svjetlosnih bljeskova pokazalo se da zvijezde oko pulsara trepere, a on je bio nepomična tačka.

Fizičko stanje u kome se nalaze pulsari, odnosno neutronske zvijezde je takvo da ne bi moglo doći do emitiranja vidljive svjetlosti. Činjenica da opažamo pulsare i optički, objašnjava se na slijedeći način. U neutronske stanje zvijezda prelazi procesom katastrofalnog skupljanja. Pri tome, zbog zakona o očuvanju uglovnog momenta rotacije i zakona o očuvanju magnetnog fluksa, novonastali objekat rotira izuzetno brzo i ima enormno snažno magnetsko polje. Osa rotacije se u mnogim slučajevima ne mora podudarati sa magnetskom osom, pa tako dolazi do pojave precesije magnetske ose.

Izuzetno zgusnute silnice magnetnog polja rotiraju zajedno sa zvijezdom. Postoji granica gdje uglovna brzina rotacije magnetnog polja dostiže brzinu svjetlosti i tako dolazimo do pojma "svjetlosni cilindar" koji ograničava polje na područje ispod ove brzine. Moćno magnetno polje rotirajuće zvijezde isisava elektrone i ubrzava ih do brzina bliskih brzini svjetlosti. Ovi relativistički elektroni kreću se spiralno oko magnetskih silnica zračeći vidljivu svjetlost (sinhronsko zračenje). Pri tome, elektroni



SI.294 Shema pulsara. Magnetna osa je nagnuta u odnosu na osu rotacije. Radio-valovi i druga zračenja napuštaju zvijezdu duž magnetske ose. Označen je i "svjetlosni cilindar" gdje magnetno polje, slijedeći rotaciju, dostiže brzinu svjetlosti.

izlijeću kroz uski lijevak oko magnet-ske ose i, zbog precesije pulsara, obasjavaju Zemlju u pulsevima poput mlaza svjetlosti sa svjetionika.

Struktura neutronske zvijezde ne može se direktno izučavati. No, prema teoriji o ponašanju materije u supergustom stanju, moguće je sa dosta tačnosti opisati kako bi mogla izgledati unutrašnjost pulsara. Njega okružuje veoma tanak sloj "atmosfera" debljine svega nekoliko milimetara. To je ionizirani plin, najvjerojatnije željezo. Ispod toga je čvrsta kora u kristalnom stanju. Radi se uglavnom o jezgrima željeza i debljina ove kore ne prelazi nekoliko stotina metara. Zatim taj sloj prelazi u područje gdje su, usljed naglog porasta gustine, neutroni istisnuti iz jezgri. I taj sloj je u čvrstom stanju. Ispod njega dolazimo do oblasti neutronske superfluida (super-tečnosti). Tu nema otpora, odnosno trenja, pa proticanje može da teče bez utroška energije. Sam centralni dio je u čvrstom stanju i trebao bi se sastojati od smjese hiperona i mezona (koje zajednički zovemo hadroni).

Postoje pulsari koji se vrte znatno brže od većine ostalih. Oni su nazvani milisekundni pulsari. Najbrži od njih, objekat PSR 1937+214, ima period od 1,558 ms. Brzina neke tačke na površini ovog pulsara dostiže 13% brzine svjetlosti.

Pokazalo se da se brzine rotacije svih posmatranih pulsara postepeno smanjuju tj. da oni usporavaju. To usporavanje je reda veličine 10^{-15} s/s.

Za astrofizičare su od posebnog interesa pulsari koji se nalaze u dvojnim sistemima. Ukoliko je jedna od komponenti nekog tijesnog dvojnog sistema pulsar, tada se pojavljuju drugi najrazličitiji efekti koji nam produbljuju

mogućnosti istraživanja ovih fenomena. Prve indikacije o pulsarima u dvojnim sistemima pojavile su se sa otkrićem rentgenskih pulsara Cen X-1 i Her X-1. U takvim sistemima oko normalne zvijezde formira se akrecioni disk koji pada ka neutronske zvijezde uslijed plimskih interakcija. Pri tome se pojavljuje snažno rentgensko i druga zračenja visokih energija.

Sa stanovišta moderne astrofizike postoji više velikih problema u pogledu našeg razumijevanja nastanka i evolucije neutronske zvijezde. Sem nekoliko slučajeva nemamo još dokaze da su eksplozije supernovih nužno vezane uz nastanak pulsara. U ostacima više poznatih supernovih nisu nađeni nikakvi objekti poput pulsara. Naravno, treba imati na umu da uski snop zračenja koji dolazi od pulsara može lako da "promaši" Zemlju i da takvi objekti ipak postoje u ostacima supernovih ali ih mi naprosto ne možemo uočiti.

Direktne dokaze veze pulsara i ostataka materije jedne supernove možemo naći u slučaju objekta Vela. Maglina koja predstavlja ostatak eksplozije nalazi se na udaljenosti od 1600 svjetlosnih godina. U ovom sazviježđu je prije nekih 10-15 000 godina eksplodirala supernova. Pulsar koji je otkriven nije u središtu magline što je bilo pomalo neobjašnjivo. Istraživanja u rentgenskom području pomoću satelita ROSAT pokazala su postojanje odvojenih kompaktnijih zgušnjenja materije koja se udaljavaju nadzvučnim brzinama od pulsara. To pokazuje da je do asimetričnosti magline u odnosu na pulsar došlo nekim drugim procesima, a da je neutronska zvijezda ipak ostatak zvijezde koja je eksplodirala.

8. INFRACRVENA ASTRONOMIJA

Uvod

Infracrvena svjetlost, ponekad nazvana i toplotno zračenje, prvi put je registrirana prije dva stoljeća. Sir **John Herschel** je, propuštajući svjetlost Sunca kroz prizmu, postavljao termometar na svaku od boja vidljive svjetlosti. Primjetio je da se temperatura podiže i nakon oblasti crvene svjetlosti, gdje golim okom nije vidio ništa. On je razumno pretpostavio da i tu postoji zračenje koje oko ne može vidjeti i nazvao ga infracrvena svjetlost tj. svjetlost poslije crvene.

Početak moderne IC astronomije veže se za rane šesdesete godine

kada je **Frank J. Low** otkrio bolometar na bazi galija i germanija sa vrlo niskim šumom. Ovaj uređaj je bio tisuću puta osjetljiviji od prethodno korištenih detektora.

Područje infracrvenih valova (ili IC valova) prostire se neposredno nakon oblasti vidljive svjetlosti. U osnovi može se podijeliti na nekoliko oblasti i to: **fotografsko infracrveno područje** (od 0,7 do 1,1 mikrometara), **blisko IC područje** (od 1,1 do 4 mikrometra), **srednje IC područje** (od 4 do 40 mikrometara), **daleko IC područje** (od 40 do 300 mikrometara)

	mikrovalno područje (radio valovi)	podmilimetarsko IC područje	daleko IC područje	srednje IC područje	blisko IC područje	fotografsko IC područje
valna dužina	1 mm	100 μm		10 μm		1 μm

Sl.295 Shematski prikaz dijela elektromagnetskog spektra koji zauzimaju infracrveni valovi

i **podmilimetarski valovi** (od 300 do 1000 mikrometara). Tako se cijela IC oblast pruža od 700 nm do 1 mm.

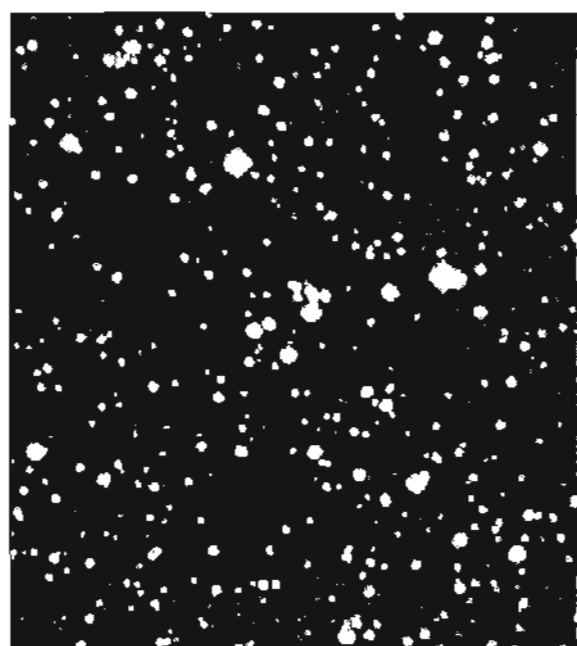
Neke fotografske emulzije osjetljive su na IC valove kraćih dužina i otuda potiče naziv za prvo područje. Pored emulzija i neki novi sistemi svjetlosnih detektora na bazi silicijumskih čipova (CCD) također su osjetljivi na IC valove kraćih valnih dužina. Posmatranja u fotografskom IC području ne daju posebno različitu sliku neba od one u vidljivoj svjetlosti. Zvijezde crvene boje dominiraju u odnosu na zvijezde plave boje. Infracrveni valovi mogu djelimično da prođu kroz oblake međuzvezdane materije. Čestice koje grade oblake imaju dimenzije reda veličine valnih dužina vidljive svjetlosti i zato je u potpunosti zaustavljaju. Valovi sa većim dužinama, iako dijelom oslabljeni, obilaze te čestice i tako mogu da prođu kroz međuzvezdane oblake.

Jedan od materijala koji su pogodni za detekciju IC zračenja je indium antimonid. Da bi mogao detektirati

slaba IC zračenja, on se mora ohladiti do temperature čvrstog dušika (-223 C), ili, čak do temperature tečnog helija (nekoliko stepeni iznad apsolutne nule). Zemljina atmosfera u potpunosti upija veći dio infracrvenog zračenja koje dopire iz svemira. Sa druge strane, u bliskom IC zračenju, nebo je propusno i danju pa je moguće vršiti posmatranja i na sunčevoj svjetlosti. Najveći apsorberi IC zračenja u atmosferi su vodena para i ugljični dioksid. Ipak, postoje izvjesni "prozori" koji omogućavaju različita posmatranja i sa površine Zemlje.

Jedan od takvih "prozora" postoji oko valne dužine od 2,2 mikrometra. Posmatranjima u ovoj oblasti, početkom šesdesetih godina napravljen je jedan od prvih infracrvenih kataloga (InfraRed Catalogue ili IRC) poznat i kao "Two Micron Survey" odnosno "Dvomicronski pregled". On je sadržao oko 5600 infracrvenih objekata.

U infracrvenim teleskopima koji su postavljeni na površini Zemlje, koriste se tehnike "klačanja" sekundarnog



Sl.296 Dva snimka oblasti u sazviježđu Norma. Lijevi snimak je načinjen u području vidljive svjetlosti. Desni snimak je u infracrvenom području. Snimanje je obavljeno sa anglo-australijske opservatorije u Siding Springu.

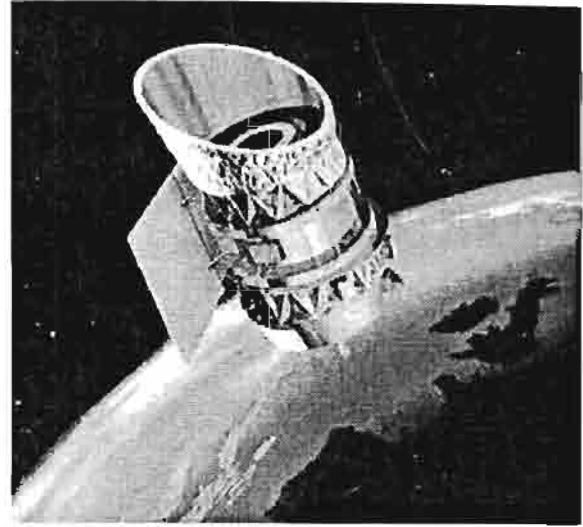
ogledala. Na taj način se, neprekidnim poređenjem njegovog sjaja, sa sjajem posmatranog objekta, vrši kompenziranje IC sjaja neba koje se reflektira u ogledalu. Ipak, za posmatranja infracrvenih valova većih dužina neophodno je IC opservatorije podići na što veću nadmorsku visinu. Jedno od najboljih mjesta na planeti za ove radove je ugašeni vulkanski vrh Mauna Kea na Havajima. On se iznad mora podiže na visinu od 4200 metara. Na njemu se sada nalazi više velikih teleskopa, od kojih je nekoliko infracrvenih. Jedan, prečnika 3 m pripada američkoj svemirskoj agenciji (NASA), a drugi je engleski infracrveni teleskop prečnika 3,8 m nazvan **UKIRT** (United Kingdom Infrared Telescope).

Infracrveni teleskopi postavljeni na Zemlji ne razlikuju se posebno od standardnih optičkih teleskopa. Srce svakog od ovih instrumenata je poluprovodnički čip osjetljiv na infracrvene fotone.

OBJEKTI NA INFRACRVENOM NEBU

Da bi se mogla vršiti istraživanja cijelog spektra infracrvenih valova neophodno je podići instrumente van zemljine atmosfere. Prvi pokušaji vršeni su raketama, balonima i avionima. No, pravi, kvalitetni rezultati postignuti su tek satelitima. Najznačajniji do sada realizirani projekat bilo je lansiranje infracrvenog satelita **IRAS** (prema **InfraRed Astronomical Satellite**) koje je obavljeno 1983. godine. Ova tonu teška letjelica aktivno je radila oko 11 mjeseci. Na IRAS-u je bio postavljen teleskop prečnika 56,5 cm koji je bio hlađen na temperaturu

tečnog helija (oko $2,5^{\circ}$ iznad apsolutne nule) kako bi se uklonila neželjena IC zračenja dijelova satelita. Njegovi detektori su radili u područjima od 12, 25, 60 i 100 mikrometara, što su oblasti srednjih i dalekih infracrvenih valova.



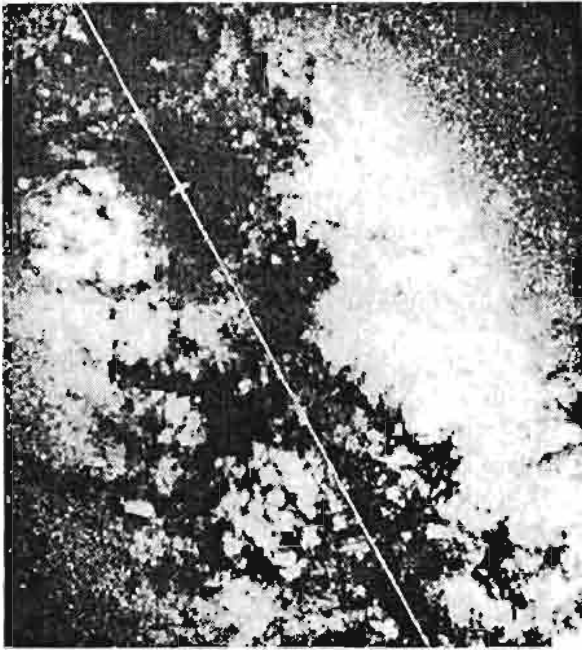
SI.297 Infracrveni satelit IRAS

Sunčev sistem

IRAS je obavio niz važnih istraživanja. U Sunčevom sistemu je odmah otkrio nekoliko novih kometa među kojima i IRAS-Araki-Alcock, koja se Zemlji približila na udaljenost od svega 5 miliona km. Detektori satelita utvrdili su da je prašinski sadržaj u kometama veći nego što su to pokazivala mjerenja u drugim spektralnim oblastima.

IRAS je otkrio postojanje novog prstena međuplanetarne materije između Marsa i Jupitera. Oblak ima oblik torusa, a čestice se kreću takvim putanjama da su one nagnute na ravan ekliptike za kut od 9° . Ovakav oblak ne bi mogao dugo ostati stabilan pa su realne pretpostavke da je nastao prije nekoliko desetaka tisuća godina. Moguće da je oblak nastao višestrukim sudarima asteroida.

Posmatranja oblasti koje se prostiru iza orbite Plutona dovela su do otkrića



SI.298 Centralne oblasti Mliječnog Puta u vidljivoj svjetlosti (lijevo) i infracrvenoj svjetlosti (desno). Ovaj infracrveni snimak je načinjen kamerama satelita IRAS.



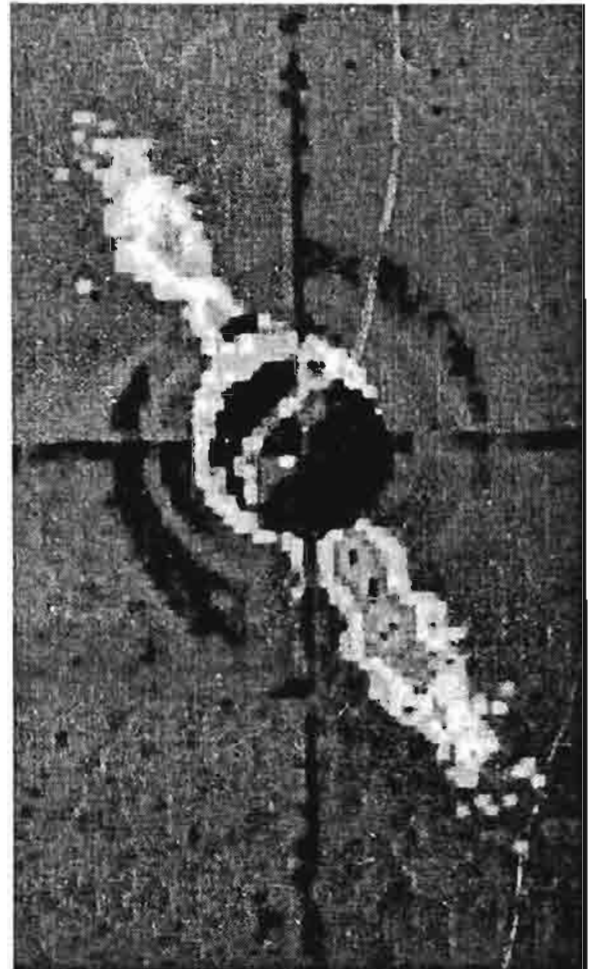
SI.299 Mogući izgled oblaka hladne materije koji je IRAS otkrio oko zvijezde Vege.

tzv. "infracrvenih cirusa" koji se poput izmaglice pružaju preko cijelog neba. Temperatura ovih "cirusa" iznosi oko 35 K, što znači da su veoma hladni. Čestice koje grade oblake imaju dimenzije čestica duhanskog dima, a sastoje se vjerovatno od grafita. Za sada je nejasno da li ovi oblaci pripadaju vanjskim zonama Sunčevog sistema ili imaju širu rasprostranjenost u okviru Mliječnog Puta. Po nekim autorima, IRAS je "vidio" poznati Oort-ov kometni oblak koji bi se trebao prostirati na daljinama između 50 i 100 tisuća astronomskih jedinica od Sunca.

Galaktički izvori

Jedno od prvih fascinirajućih otkrića ove letjelice bilo je opažanje oblaka hladne materije oko sjajne zvijezde Vege. Ova plava zvijezda, spektralnog tipa A0, koristila se na početku misije za kalibraciju detektora. Pokazalo se da je zračenje zvijezde u IC području znatno veće nego što bi trebalo biti za ovaj spektralni tip. Ustanovljeno je postojanje oblaka materije sa temperaturom od 85 K koji se prostire do daljine od 85 astronomskih jedinica od Vege. Otkriveno je još nekoliko ovakvih slučajeva. Detektori IRAS-a nisu imali preciznost koja bi mogla potvrditi pretpostavku da ti oblaci predstavljaju neku formu planetskih sistema. Međutim, stigle su potvrde sa zemaljskih teleskopa. Koristeći 2,5 metarski teleskop opservatorije Las Campanas u Čileu, astronomi **B. Smith** i **R. Terrile** su, koristeći jednu novu tehniku maskiranja zaslijepljujućeg svjetla zvijezde, obavili posmatranja Bete Pictoris, jednog od IRAS-ovih kandidata za postojanje značajnog oblaka tamne materije. Pokazalo se da je

zvijezda okružena diskom materije koji se pruža na udaljenost od 400 astronomskih jedinica. Ovo su prvi, ozbiljniji dokazi u prilog tvrdnji da naš planetski sistem nije rijetkost ili unikat u Mliječnom Putu ili svemiru uopće.



SI.300 Oblak hladne materije oko zvijezde β Pictoris

Posmatranja zvijezde Betelgeuz u Orionu pokazala su da nju okružuju tri "školjke" hladne prašinate materije koje se prostiru do daljine od 4,5 svjetlosne godine. One pokazuju da je ova polupravilna promjenljiva zvijezda u bližoj prošlosti (prije 50 do 100 tisuća godina) imala tri jače erupcije materije.

Pomoću IRAS-a obavljena su i posmatranja centralnih oblasti Mliječ-

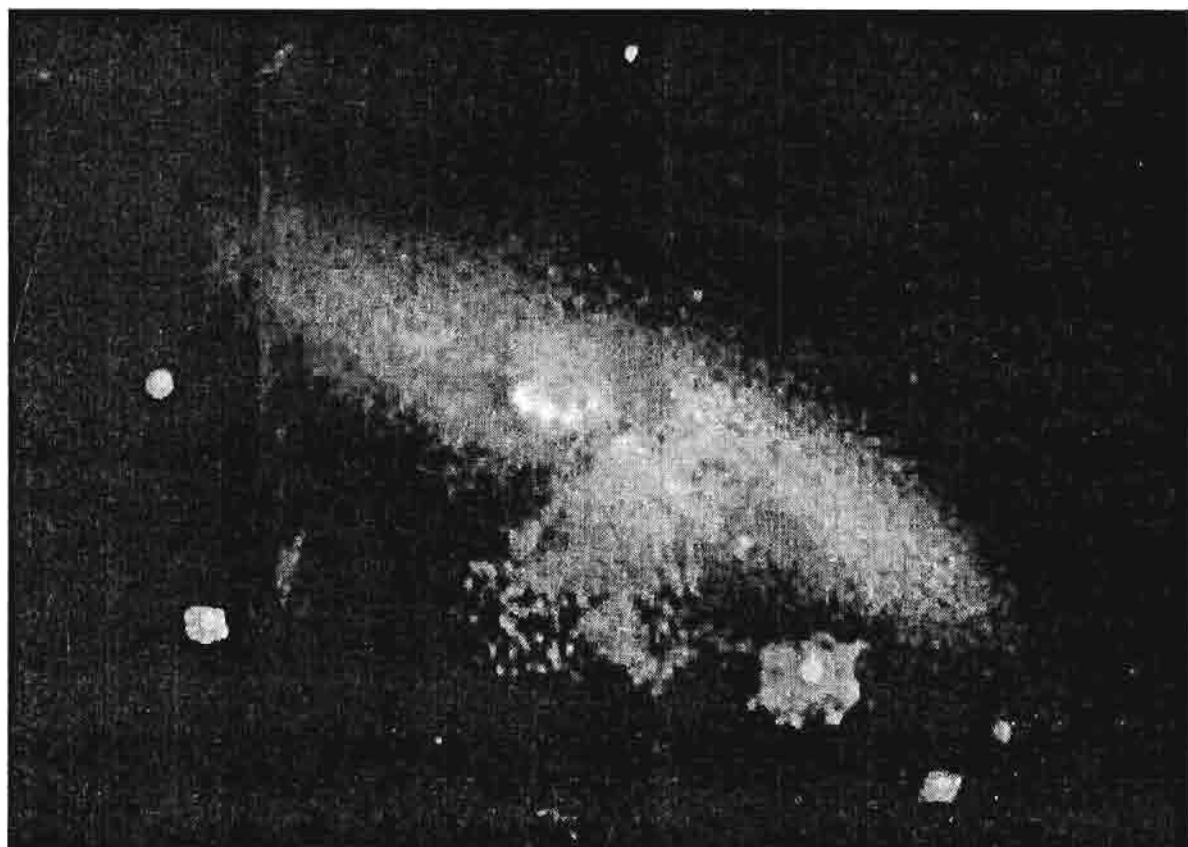
nog Puta koje su od nas skrivene gustim oblacima međuzvjezdane prašine. Pokazalo se da u tim oblastima ima dosta infracrvenih izvora koji predstavljaju zvijezde koje se tek rađaju ili su se rodile u relativno bliskoj prošlosti. Tako je u oblaku Kameleon I otkriveno 70 IC izvora.

Vangalaktički IC izvori

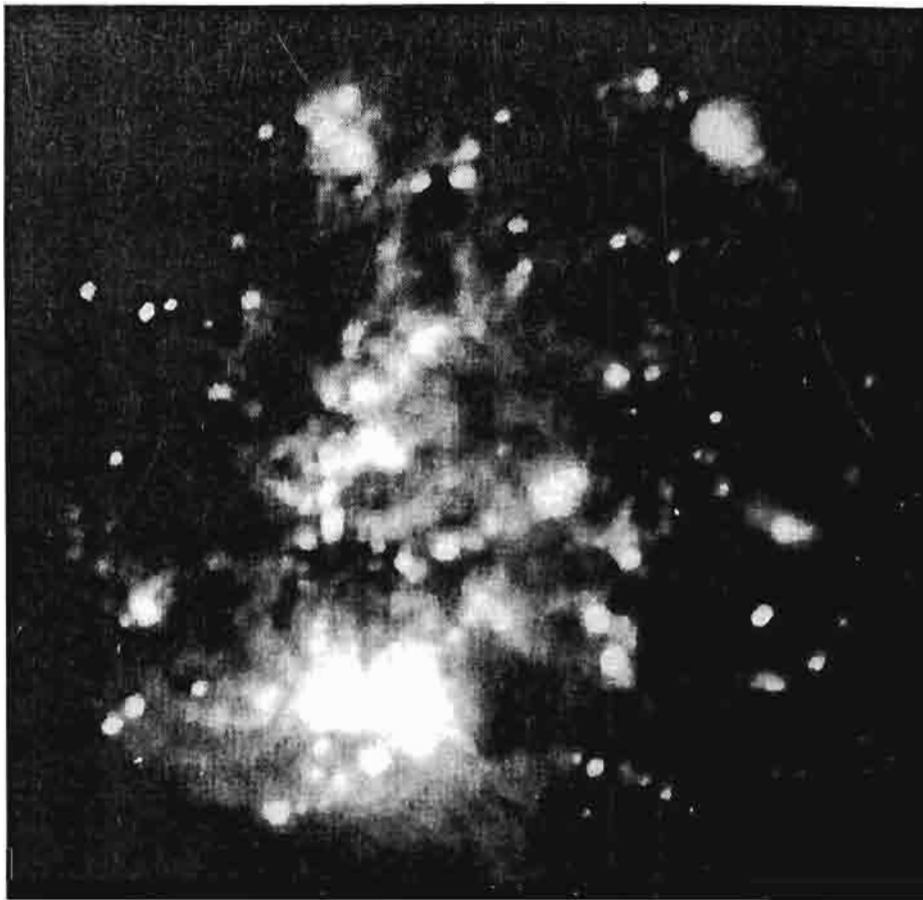
Veoma važna pitanja oko rađanja zvijezda mogu biti razrješena IC posmatranjima pojedinih galaksija. Tokom formiranja galaksija, dobar dio materije prelazi u zvijezde male mase, hladna sunca koja svoje nuklearno gorivo troše veoma sporo. Iz tog razloga većina zvijezda jedne galaksije su iste starosti kao i sam zvjezdani sistem jer su sve stare masivnije zvijezde brzo potrošile svoje nuklearno gorivo i davno umrle.

Ako gledamo veoma daleko u dubinu svemira, tada opažamo objekte koji su postojali u prošlosti. Zato infracrvena posmatranja omogućavaju izučavanje protogalaksija.

Galaksija u Andromedi, M31 pokazala se kao slab infracrveni izvor. Eliptične galaksije se ne pojavljuju kao iole zamjetni izvori što se uklapa u naše spoznaje da ovi zvjezdani sistemi gotovo nemaju međuzvjezdane materije u svom sastavu. IRAS je potvrdio ranija saznanja o galaksiji M82 kod koje postoji eksplozivni proces u jezgri. Samim tim se očekivalo dosta prašinaste materije. Ustanovljeno je da ova galaksija zrači četiri puta više u IC oblasti nego u vidljivoj. Opažene su galaksije koje zrače 10 do 50 puta više u infracrvenom području nego što to čine u vidljivom. Dio izvora je ostao za sada neidentificiran.



SI.301 Pekulijarna galaksija M82 u Velikom medvjedu je moćan izvor svih vrsta zračenja. Divovski eksplozivni proces se odvija u njenom središtu.



Sl.302 Veliki Magelanov oblak u infracrvenoj svjetlosti. Najsjajnije oblasti su mjesta gdje se rađaju zvijezde. Snimak letjelice IRAS.

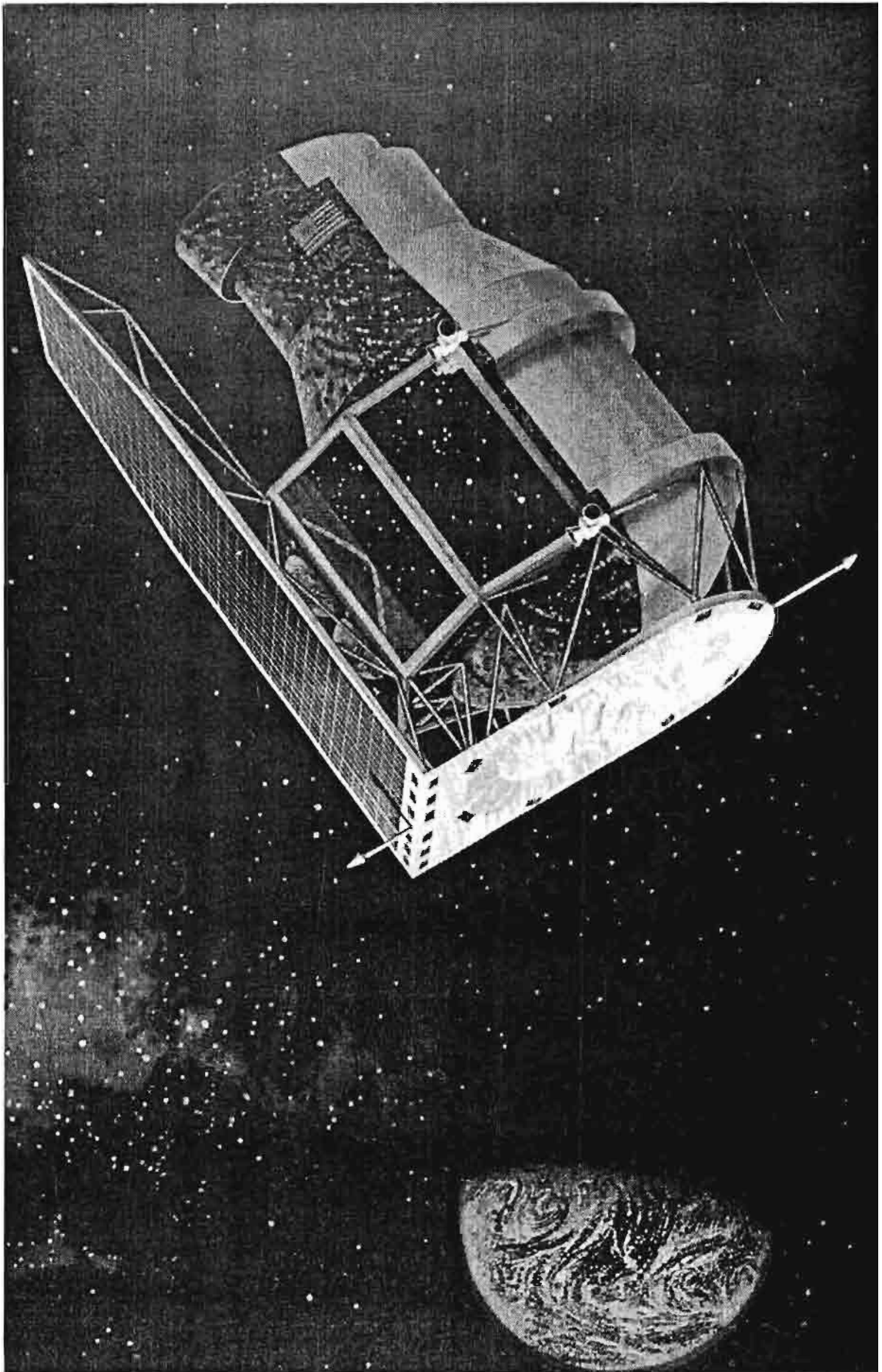
Novi projekti

Slijedeći veliki korak infracrvene astronomije planira se za kraj ovog milenija. To je lansiranje novog infracrvenog satelita u okviru projekta **SIRTF** (**S**pace **I**nfr**R**ed **T**elescope **F**acility) koji za NASA-u rade stručnjaci Jet Propulsion Laboratory. Teleskop će najvjerojatnije biti lansiran u orbitu oko Sunca kako bi se udaljio od Zemlje, jakog izvora toplote. Glavno ogledalo bi trebalo biti prečnika oko 85 cm, a sam instrument će biti u rezervoaru tečnog helija. Planirani hibridni CCD detektori pokrivali bi područje od 2-1000 mikrometara, što je desetak puta šire od IRAS-ovog opsega i 200 puta šire od vidljivog dijela elektromagnetskog spektra. SIRTF bi mogao detektirati izvore koji su nekoliko tisu-

ća puta slabiji od onih koje je opazio IRAS. Istovremeno, slike bi trebale biti stotinjak puta oštrije, a spektri takođe stotinu puta bolje rezolucije od IRAS-ovih.

Ovaj infracrveni satelit nosiće dovoljnu količinu tečnog helija koja će omogućiti nesmetan rad tokom perioda od 5 godina.

Novi instrument će omogućiti produbljivanje naših saznanja o Sunčevom Sistemu, planetskim sistemima drugih zvijezda, rađanju i smrti zvijezda, jezgru Mliječnog Puta, infracrvenim galaksijama, kvazarima, te nove spoznaje o protogalaksijama i drugim objektima na samom rubu vidljivog svemira. Misteriozni smeđi patuljci i nevidljiva masa u svemiru biće također predmetom istraživanja.



SI.303 Umjetnička vizija izgleda infracrvene opservatorije SIRTf, na orbiti oko Zemlje

9. ULTRALJUBIČASTA (ULTRAVIOLETNA) ASTRONOMIJA

UVOD

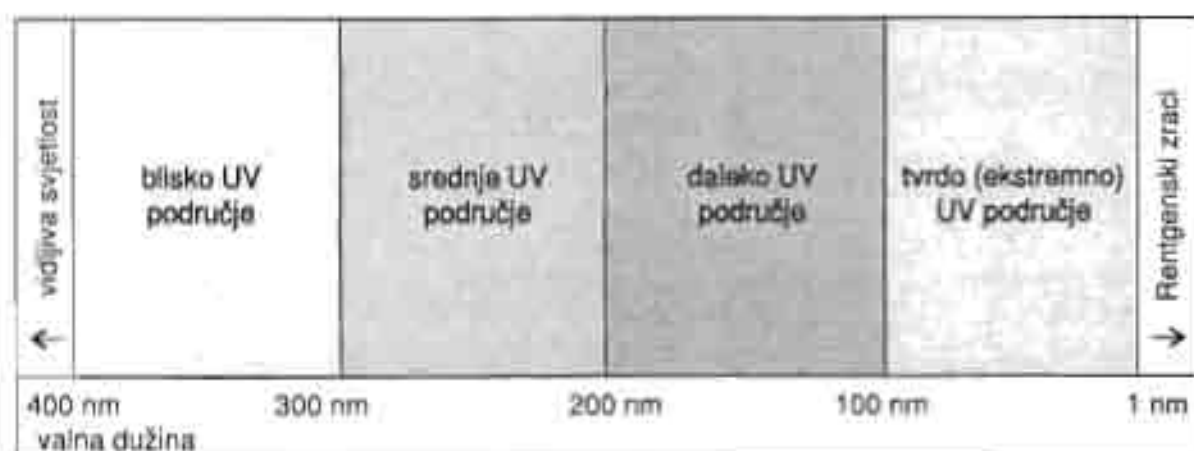
Svoj život, ova oblast astronomije je započela ranih pedesetih godina ovog stoljeća. Ultraljubičasti dio spektra elektromagnetskih zračenja prostire se od 10 do 390 nm. Najveći dio ovih zračenja zemljina atmosfera upija. Ultraljubičasti zraci se najviše apsorbiraju u kisiku i dušiku, zatim ozonu čiji ih sloj uspješno upija. Time je život na Zemlji zaštićen od razornih **UV (UltraVioletnih)** zračenja. Iz pomenutih razloga, prvi uređaji za detekciju objekata na ultraljubičastom nebu, morali su biti podignuti na velike visine, najprije balonima i avionima, a kasnije satelitima koji kruže potpuno van atmosfere.

Istraživanja UV zračenja daju nam podatke o raznovrsnim objektima, od onih nama najbližih koji se nalaze u Sunčevom sistemu, pa do onih najudaljenijih kakvi su kvazari. Posebno su ova posmatranja važna kada se radi o objektima visokih temperatura. Tako se moglo doći do saznanja o hemijskom

sastavu međuzvezdane sredine (plinova i prašine), procesima u planetarnim maglinama, te sadržaju deuterija u međuzvezdanoj sredini, što je posebno značajno za kosmo-loška istraživanja.

Ultraljubičasto zračenje je prvi put opaženo pri istraživanju fotohemijskog djelovanja svjetlosti na srebreni hlorid (**H.Ritter**, 1801. godine). kada je vršeno propuštanje sunčevog svjetla kroz prizmu, Ustanovljeno je da postoji djejtvo na srebreni hlorid i nekog nevidljivog zračenja koje se nalazilo iza ljubičastog dijela spektra.

Prema karakteru međudjelovanja sa raznim atomima i molekulima, došlo je do podjele UV područja na četiri oblasti. Zračenje sa valnim dužinama od 300 do 400 nm, nazivamo **bliskim UV zracima**. Ovo zračenje prolazi kroz atmosferu i možemo ga posmatrati teleskopima sa površine naše planete. Pri tome ga je moguće registrirati na fotografskoj emulziji, pa se zato ova oblast UV zračenja i ne ubraja direktno u područje ultraljubičaste astronomije.



Sl.304 Shema dijela elektromagnetskog spektra koga zauzima ultraljubičasta oblast

Valne dužine od 200 do 300 nm obrazuju područje **srednjih UV zraka**. Oblast od 91,2 do 200 nm, zovemo oblašću **dalekih UV zraka**, dok interval od 10 do 91,2 nm čine **ekstremni ili tvrdi ultravioletni zraci**.

Uređaji koji se koriste u UV astronomiji

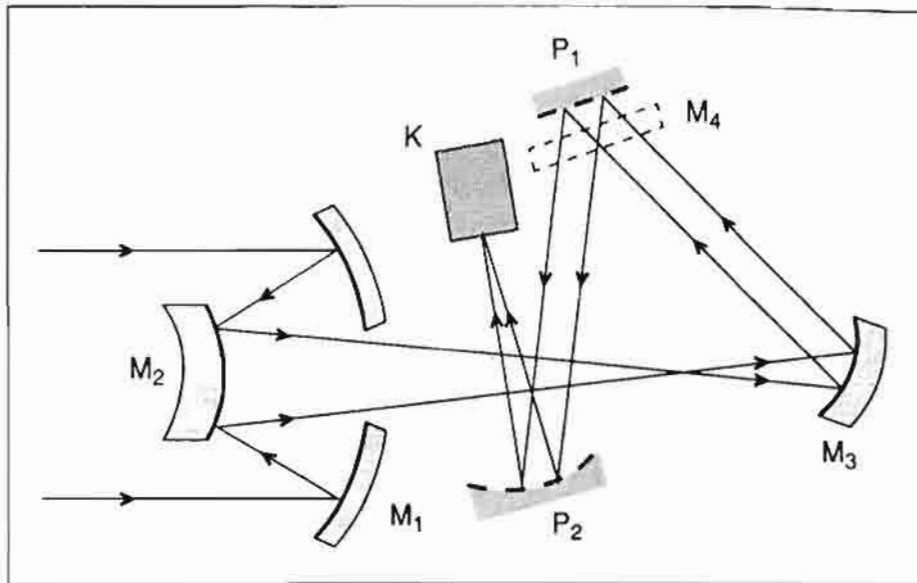
UV zračenja srednjeg, dalekog i ekstremnog diapazona možemo detektirati samo kada naše uređaje podignemo iznad zemljine atmosfere. Prva dva ultraljubičasta satelita bili su američki **OAO-2** (**O**rbiting **A**stronomical **O**bservatory) i evropski **TD-1A**. Oni su dali opšti pregled ultraljubičastog neba.

Dva druga satelitska programa, koja su odigrala izuzetnu ulogu u ovim istraživanjima, bili su **OAO-3**, nazvan **Kopernik** (**C**opernicus) i **IUE** (**I**nternational **U**ltraviolet **E**xplorer). Kopernik je je imao teleskop prečnika 81 cm i bio je lansiran 1972. godine na orbitu prosječne visine od 750 km. Satelit je bio u pogonu 9 godina. IUE, koji je nastao u kooperaciji USA, V. Britanije i Evropske svemirske agencije (ESA), lansiran je 1978. godine u tzv. kvazistacionarnu orbitu (perigej od 25 669

km i apogej 45 888 km). Ovaj satelit je imao manji teleskop prečnika 45 cm, ali mnogo bolje detektore.

Slika 305 prikazuje nam uproštenu optičku shemu UV teleskopa na satelitu IUE. On je raspolagao sa dva spektrometra identične konstrukcije od kojih je jedan radio u području 115 do 195 nm, a drugi od 190 do 320 nm. Radi jednostavnosti, na crtežu je data shema samo jednog spektrometra. Bilo je predviđeno da spektrometar radi u dva režima. Kada se vrše posmatranja objekata slabog sjaja, tada se ogledalo M_1 postavlja ispred rešetke P_1 , pa u formiranju spektra učestvuje samo rešetka P_2 . U ovom režimu postiže se spektralno razdvajanje od 0,6 do 0,8 nm. Ako se ogledalo M_1 ukloni, tada spektralno razdvajanje postaje mnogo bolje i dostiže veličinu od 0,01 do 0,03 nm. Ovo se pak u praksi može koristiti samo kod dovoljno sjajnih objekata. Lik spektra se pojavljuje u ravni koja je u fokusu rešetke - objektiva P_2 , odnosno, na ulaznom oknu konvertera K.

Okno konvertera je izrađeno od materijala koji propušta zračenja sa valnim dužinama većim od 115 nm. Sa unutrašnje strane ovog okna, nanesen je polupropusni sloj cezija uz primjese

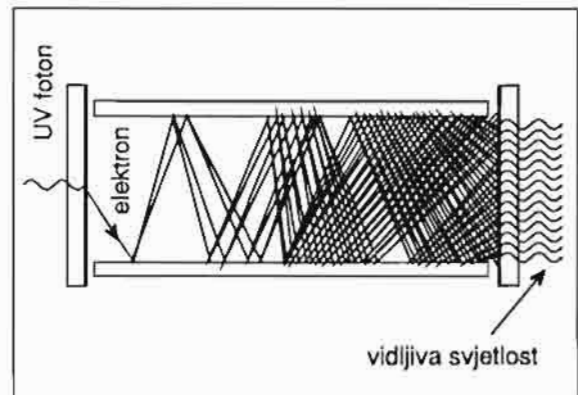


SI.305 Pojednostavljena shema optičkog dijela UV teleskopa na IUE satelitu

talija. Ovaj sloj ima ulogu fotokatode. Pod dještvom UV fotona, fotokatoda ispušta elektrone koji se ubrzavaju u električnom polju. Sistemom "magnetskih sočiva", elektronski snop se fokusira i pada na fosoroscentni ekran i izaziva svjetlucanje u vidljivoj svjetlosti. Likovi spektara sa ovog ekrana se sistemom optičkih vlakana prenose na TV kameru i dalje do zemaljske stanice. U prijemnoj stanici, slika se kompjuterski "očisti" i dalje prikazuje u podesnom obliku.

Od novijih detektora u ultraljubičastoj astronomiji važna je primjena tzv. mikrokanalnih pločica. Svaka takva pločica sadrži tisuće malih staklenih cjevčica dužine 1 mm i prečnika četrdesetak mikrometara. Ove cjevčice su u obliku sendviča, paralelno upakovane u stakleni kontejner sa vakuumom. Prednja ploča je premazana slojem osjetljivim na UV zračenje, a sa stražnje strane nalazi se fosorni ekran koji proizvodi svjetlucanje kada elektron padne na njega. Krajevi cjevčica su pod naponom od oko 1000 volti, a iza fosornog ekrana nalazi se TV kamera koja registrira

sliku. Ova pločica se postavlja u fokus teleskopa. Kada foton ultraljubičaste svjetlosti padne na prednju elektrodu, on izbija elektron u cjevčicu smještenu iza premaza. Taj elektron se ubrzava u cjevčici i udarajući u njene zidove, proizvodi druge elektrone, koji opet, takođe udaraju o zidove proizvodeći pravu lavinu ovih čestica. Tako jedan početni elektron može da proizvede i do 100 000 elektrona koji padaju na fosorni ekran. Mrlja na ekranu nalazi se na pravcu iz koga je došao ultraljubičasti foton. Ta tačka je dovoljno sjajna da se može lako registrirati. Princip rada mikrokanalne pločice vidljiv je na slici 306.



SI.306 Mikrokanalna pločica

Mehanizmi nastanka ultraljubičastog zračenja

Kada je riječ o tome šta se sve istražuje u ovoj oblasti, onda to možemo posmatrati kroz dva bitna segmenta. Prvi je ispitivanje vrućih zvijezda, maglina i uopće objekata koji sadrže plin ili plazmu zagrijane do visokih temperatura. Kada je temperatura viša, najveći dio energije objekta se izračuje u oblasti kraćih valnih dužina. Kod temperatura od 10 000 do 300 000 stepeni Kelvina, maksimum zračenja pada na UV dio spektra. Temperaturu nekog objekta je moguće tačnije odrediti u ovoj oblasti nego u vidljivoj svjetlosti.

Drugi važan segment istraživanja, je određivanje hemijskog sastava veoma razrijeđenog plina. Istraživanja plinova niske gustine su važna kada se radi o vanjskim slojevima planet-skih atmosfera, međuplanetarnoj i međuzvjezdanoj sredini, plinovitim maglinama i sl. Pri tome je moguće mjeriti koncentraciju atoma i molekula najrasprostranjenijih elemenata u svemiru kakvi su vodik i helij.

Kada je u pitanju vodik, za prelaz sa osnovnog energetskog stanja na prvo pobuđeno stanje, atom mora da upije foton sa valnom dužinom od 121,6 nm. Kada se vrati u normalno stanje, on ispušta foton iste valne dužine kao onaj koji je upio. Ovakav proces je poznat kao **rezonantno rasijavanje**.

Ako se između posmatrača i izvora UV zračenja nađe oblak neutralnog vodika, tada ćemo registrirati apsorpcionu liniju sa valnom dužinom od 121,6 nm. Ta linija, poznata kao $L\alpha$ (Lyman-ova alfa linija, po **T. Lyman-u**) javlja se kao najvažnija linija u spektru dalekih UV zračenja.

Sličnim procesima, mogu se upijanjem fotona od 102,6 nm emitirati dva fotona sa dužinama od 656,3 i 121,6 nm, a ovakav proces poznajemo kao **fluorescenciju**. Atom može preći iz osnovnog stanja u neki od nivoa pobuđenosti i prilikom sudara sa drugim atomom, ionom ili elektronom. Pri niskim temperaturama ili maloj gustini materije, praktično svi atomi i molekuli se nalaze u osnovnom energetskom stanju. Tako se u ovakvim uslovima odvija samo rezonantno rasijavanje.

Pokazalo se da je najintenzivnije zračenje u rezonantnim linijama, naročito onima koje nastaju pri prelazu između prvog pobuđenog i osnovnog energetskog stanja. Zato se opažanje i mjerenje koncentracije atoma prije svega vrši posmatranjima u onoj oblasti spektra u kojoj leže rezonantne linije.

Na karakter UV spektara zvijezda i planeta veoma mnogo utiču još dva procesa, **fotoionizacija** i **fotodisocijacija**.

Pri fotoionizaciji, atom upija foton, a elektron u atomu dobija time toliko energije da postaje slobodan. Kod vodika do fotoionizacije dolazi po djelovanjem zračenja čije su valne dužine manje od 91,2 nm, a kod helija je to pod djelovanjem zračenja valnih dužina manjih od 50,4 nm.

Proces fotodisocijacije nastaje kada molekuli upiju fotone i zatim se cijepaju na atome koji ih grade. Obično nakon nekog vremena, ioni, odnosno atomi, zrače foton i vraćaju se u osnovno stanje. Time procesi fotoionizacije i fotodisocijacije vode ne samo ka upijanju ultraljubičastog zračenja, već i ka emitiranju svjetlosti u određenim spektralnim linijama.

OBJEKTI NA ULTRALJUBIČASTOM NEBU

Sunčev sistem

Već kod prvih UV posmatranja, Sunce je bilo jedan od primarnih ciljeva istraživanja. Najvažniji podaci do koji se došlo odnose se na hromosferu i koronu. Poznat je problem izuzetno visoke temperature ovih slojeva Sunca. Prema nekim razmišljanjima nju bi mogli izazvati udarni valovi koji se obrazuju kretanjem plinovitih masa i čija se energija transformira u toplotnu. Posmatranjima u UV oblasti opaženi su takvi valovi u hromosferi i izmjerena energija koju oni nose. Pokazalo se da se tim valovima ne može objasniti izuzetna temperatura korone. Ultraljubičasti detektori su otkrili snažne erupcije mlazeva materije koji se za dvadesetak sekundi ubrzaju do 500 km s^{-1} i dopru do korone. Pri tome se radi o materiji izuzetno visoke temperature (oko $100\,000 \text{ K}$).

Ako je o planetama riječ, onda su se istraživanja prvenstveno odnosila na njihove atmosfere. Kod Merkura je opaženo zračenje na liniji He I od $58,4 \text{ nm}$ što ukazuje da je oko njega veoma razrijeđen oblak helija. Gustina mu je 10^{15} puta manja od gustine zemljine atmosfere. Ovdje se najvjerovatnije radi o "atmosferi" nastaloj raspadom radioaktivnih izotopa u kori Merkura i zahvatu jezgri helija iz sunčevog vjetra.

Kod posmatranja Venere, mjereno je intenzitet linije $L\alpha$ koji je vodio zaključcima vezanim uz raspored vodikovih atoma. Pokazalo se da temperatura na visinama manjim od 7000 km , na

dnevnoj strani planete ima vrijednost od oko 400 K . To se podudara sa mjerenjima koja su sprovedena na druge načine. UV spektar Venere sadrži, pored Lyman-ove alfa linije, i linije helija, kisika i ugljik(II)-oksida.

U atmosferi Marsa detektirane su linije vodika, kisika, ugljika, te trake molekula ugljik(II)-oksida. Većina ovih linija nastaje procesima fotodisocijacije i fotoionizacije molekula ugljik(II)-oksida pod dejstvom sunčevog UV zračenja. Mjerenja apsorpcije ovog zračenje pokazala su da oko Marsa postoji ozonski sloj debljine oko 7 km i to na visini između 35 i 40 km iznad površine.

Jupiter je, kao i ostale planete koje poznajemo kao plinovite divove, najvećim dijelom građen od vodika i helija. Zbog toga su najjače linije njegovog UV spektra rezonantne linije atomskog vodika i helija, a takođe i trake molekularnog vodika. Glavni mehanizam koji formira ove linije je međudjejtvo neutralnih atoma i elektrona koji prodiru u atmosferu. Ti potoci naelektrisanih čestica su intenzivni u Jupiterovoj magnetosferi. Oni se kreću duž silnica magnetskog polja, pa su najintenzivniji oko magnetskih polova. U tim zonama je opažena polarna svjetlost koja posebno intenzivno zrači u Lyman-ovoj alfa liniji. Važni podaci o strukturi dubljih slojeva atmosfere dobijeni su izučavanjem apsorpcionih spektara Sunca i zvijezda ispred kojih se našao Jupiter. Tako je izmjerena koncentracija molekula metana, acetilena i etana u vanjskim oblastima atmosfere Jupitera.

UV spektar Saturna liči na spektar Jupitera. Opažene su linije vodika i helija i na noćnoj i na dnevnoj strani planete. UV zračenja opažena su i u

sistemu prstenova i u atmosferi satelita Titana. Pokazalo se, mjerenjem intenziteta rasijanog zračenja, da je koncentracija atoma vodika u prstenovima oko 600 po kubnom centimetru.

Kod kometa, koje su većim dijelom plinovite strukture, javljaju se procesi fotodisocijacije i fotoionizacije molekula pod uticajem sunčevog UV zračenja. Atomi vodika koji rasijavaju zračenje u liniji $\text{L}\alpha$, formiraju se kao rezultat fotodisocijacije molekula vodene pare. Pored vodika, opažene su u UV spektrima kometa i linije ugljika, hidroksila, ugljik(II)-oksida i ugljik(IV)-oksida.

Mliječni Put

Kada se krenulo dalje od Sunčevog sistema, pokazalo se da se snimci većih površina neba, načinjeni u ultraljubičastoj svjetlosti, ne razlikuju suviše od onih načinjenih u vidljivoj svjetlosti. U oba slučaja vide se na tisuće zvijezda koje se koncentriraju ka glavnoj ravni Mliječnog Puta. Na UV nebu dominiraju zvijezde visokih površinskih temperatura od 10 do 100 tisuća stepeni. Dobar primjer je veliko zimsko sazviježđe Orion. Sjajna crvena zvijezda Betelgez, u UV oblasti zrači malo, pa je jedva vidljiva. Rigel, kao sjajni superdiv, zrači intenzivno u ovoj oblasti, a još su sjajnije od njega tri zvijezde u pojasu Oriona. One se ubrajaju među prividno najsjajnije objekte ultraljubičastog neba jer svaka od njih ima površinsku temperaturu od oko 30 000 K.

Sjajne zvijezde na glavnom nizu Hertzsprung-Russell-ovog diagrama izbacuju dio svog materijala i tim isticanjem se formira tzv. zvjezdani vjetar. Zbog ovoga se pojavljuju

karakteristične linije u spektrima ovih divovskih i superdivovskih zvijezda. UV spektri nam daju podatke o prirodi zvjezdanog vjetra, o tome kakvi su fizički uslovi, temperatura i stepen ionizacije tih potoka materije. Brzina zvjezdanog vjetra se određuje po pomjeranju apsorpcionih linija u spektrima zvijezda. Maksimalne brzine kod superdivovskih zvijezda dostižu i 3400 km s^{-1} . Zahvaljujući ispitivanjima UV spektara, opaženo je postojanje linija kisika O(VI) (šestostruko ionizirani kisik) i dušika N(V) (pet puta ionizirani dušik). Da bi se formirali ovakvi ioni neophodne su temperature iznad stotinu tisuća Kelvina.



Sl.307 Dio velikog kompleksa maglina preostalih nakon eksplozije prдавne supernove. Taj predio na nebu poznat je kao "Pelja u Labudu". Snimak je načinjen iz svemira, sa orbitirajuće opservatorije "Astro" i to u UV oblasti. Snimanje je obavljeno u području linije trostruko ioniziranog ugljika.

UV spektri hladnijih zvijezda omogućavaju istraživanja kromosfera i korona zvijezda spektralnih tipova od F2 do M. Sistematska posmatranja kromosferskih linija u spektrima zvijezda glavnog niza dovela su do otkrića periodičnih promjena njihovog intenziteta. Te promjene se objašnjavaju rotacijom zvijezda i pojavama aktivnih oblasti kakve smo upoznali i kod našeg Sunca. Kod zvijezda tipa W Ursae Majoris, RS Canum Venaticorum i FK Comae Berenices su otkrivene posebno intenzivne emisone linije u UV spektrima. Kod zvijezda kakvi su bijeli patuljci, ultraljubičastim posmatranjima je potvrđeno da u njihovim atmosferama praktično nema vodika.

Plin visoke temperature je glavni sastojak planetarnih maglina. Zbog toga ovakvi objekti veliki dio svoje energije zrače u dalekim i ekstremnim ultraljubičastim zracima. U astrofizičkom pogledu, od velikog je značaja određivanje hemijskog sastava ovih objekata, posebno sadržaja ugljika, dušika i kisika. UV uređaji su omogućili mjerenje koncentracije ovih elemenata, posebno ugljika i dušika.

U ovom području se mogu vršiti posmatranja međuzvjezdane materije koja se u obliku oblaka prašine i plinova koncentriraju u blizi ekvatorske ravni Mliječnog Puta. Do sada je otkriveno preko 100 apsorpcijskih linija koje pripadaju atomima i ionima nekih dvadesetak hemijskih elemenata. Većina ovih apsorpcijskih linija nalazi se u ultraljubičastom području. Kod ovakvih istraživanja koriste se spektri većeg broja zvijezda u kojima se traga za apsorpcijskim linijama nastalim upijanjem svjetlosti u međuzvjezdanoj materiji. To su linije koje prema teoriji nema u spektrima tih zvijezda.

Vangalaktički izvori

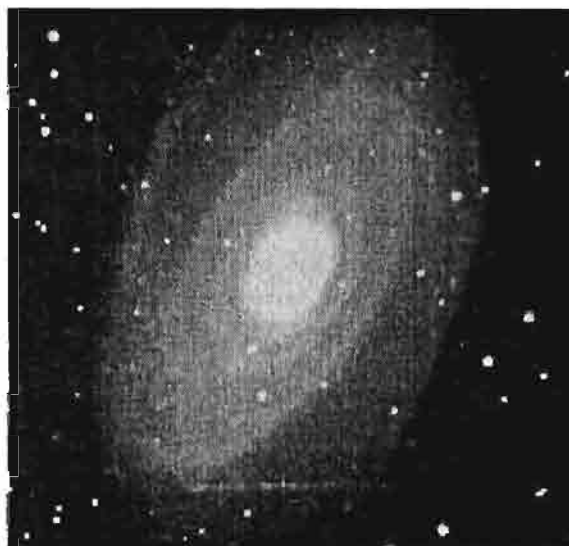
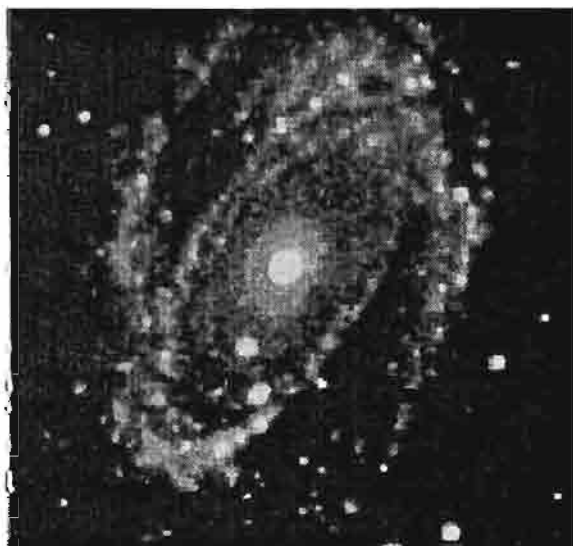
Među vangalaktičkim izvorima ultraljubičastog zračenja srećemo eliptične, spiralne i nepravilne galaksije. Pri tome se od ove oblasti spektra očekuje da nam prije svega pokaže oblasti vrućih zvijezda. Posebno su sjajni u ovoj oblasti Seyfert-ove galaksije i kvazari. Znamo da je kod eliptičnih galaksija proces stvaranja zvijezda uglavnom završen i da one gotovo ne sadrže prašinu i plin. Pokazuje se da u nekima od njih ipak postoji jako UV zračenje. Najintenzivniji ovakav izvor je galaksija NGC 4649 ili M60 koja pripada velikom skupu galaksija u Djevici. Njeno ultraljubičasto zračenje se objašnjava postojanjem dovoljnog broja vrućih zvijezda visoke temperature kod kojih postoji proces nuklearne pretvorbe helija u ugljik.

Spiralne i nepravilne galaksije sadrže dovoljne količine međuzvjezdane materije, a i mjesta gdje se rađaju zvijezde. Tako su u slučaju Velike magline u Andromedi, pored UV izvora u spiralnim kracima, opažena i zračenja koja dolaze iz jezgra. Obzirom da se tamo nalaze uglavnom starije i hladnije zvijezde, to nije jasan mehanizam koji proizvodi zračenje iz ovih oblasti. Posebno intenzivno UV zračenje opaženo je u spektrima galaksija Markarjan 8 i Markarjan 325 kod kojih je opaženo postojanje tzv. plavih pjega. To su oblasti povišenog intenziteta zračenja u kraćim valnim dužinama. Pretpostavlja se da svaka pjega predstavlja divovski oblak ioniziranog vodika u kome se nalazi barem 70 000 mladih zvijezda.

Posmatranja jezgri Seyfert-ovih galaksija i kvazara, pokazuju postojanje kontinuiranog spektra, ispres-

ječanog mnogobrojnim apsorbcionim linijama. Očigledno je da je centralni izvor, koji daje neprekidni spektar, okružen ogromnim oblacima plina visoke temperature u kome se vrši apsorbcija. Već smo pominjali da se u

jezgrima nekih objekata dešavaju različite aktivnosti čija prava priroda nije poznata. Međutim, posljedice poput formiranja oblaka hladnijeg materijala, mi možemo registrirati koristeći ultraljubičaste teleskope.



SI.308 Ultraljubičasti snimak galaksije M81 (lijevo) i snimak iste galaksije u vidljivoj oblasti (desno).

10. RENTGENSKA ASTRONOMIJA

Uvod

Rentgenski ili X-zraci zauzimaju područje elektromagnetskog spektra od 0,01 do 10 nm. Obzirom da ovdje susrećemo kratkovalna zračenja visokih energija, tada je praktičnije upotrebljavati energetske jedinice umjesto dužinskih. U fizici se definira da jedan **elektron volt** predstavlja kinetičku energiju koju dobije elektron ubrzan potencijalnom razlikom od jednog volta. Iz praktičnih razloga koriste se i skraćenice za veće energije. Tako 1 kV predstavlja tisuću volti, 1 MeV je milion volti, a 1 GeV predstavlja milijardu volti. Uzevši u

obzir ove činjenice, rentgenske zrake možemo podijeliti na **meke**, koje imaju energije od 0,125 do 1 keV, **klasične** koje su u diapazonu od 1-20 keV i **tvrde** koji su smješteni u rasponu između 20-500 keV.

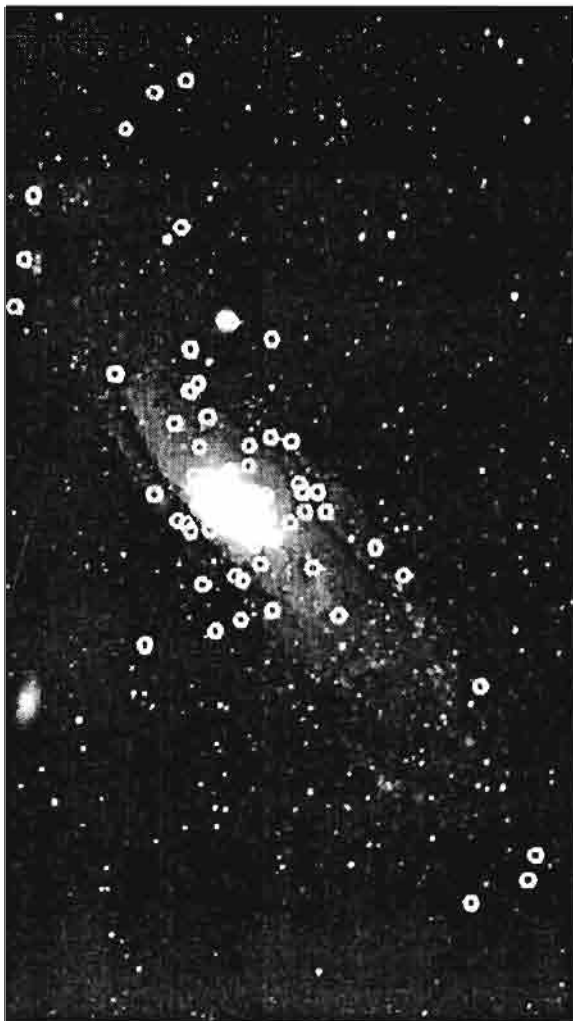
Rentgenski zraci nastaju na različite načine. Tako se javljaju prilikom kočenja brzih elektrona pri njihovom kretanju kroz neku materiju. Također, rentgenski zraci se javljaju prilikom elektronskih prelaza sa jedne na drugu atomsku ljusku. Općenito, rentgenski zraci se pojavljuju u svim procesima gdje imamo izuzetno visoke energije odnosno visoke temperature.

energija		frekvencija			
0,125 keV	1,25 keV	12,5 keV	125 keV	1,25 MeV	
3×10^{16} Hz	3×10^{17} Hz	3×10^{18} Hz	3×10^{19} Hz	3×10^{20} Hz	
meki X zraci		klasični X zraci		tvrđi X zraci	
10 nm	1 nm	0.1 nm	0.01 nm	0.001 nm	
valna dužina					

SI.309 Shema dijela elektromagnetskog spektra koji prekrivaju rentgenski ili X-zraci.

Jedini rentgenski izvor koga je bilo moguće registrirati sa Zemlje je Sunce. Zbog toga su za istraživanja u ovoj oblasti instrumenti morali biti podignuti visoko ili, još bolje, izbačeni van atmosfere. Šesdesetih godina vršena su prva raketna istraživanja i tada je otkriven najsnažniji izvor ovog zračenja nazvan **Scorpius X-1**. Ovo je dvojni sistem u sazviježđu Škorpiona gdje plin sa normalne zvijezde pada ka kompaktnom objektu (neutronske zvijezde ili možda crnoj jami). Pri tome se odašilje snažno X-zračenje.

Zatim su počela lansiranja prvih rentgenskih satelita. Američki SAS-1



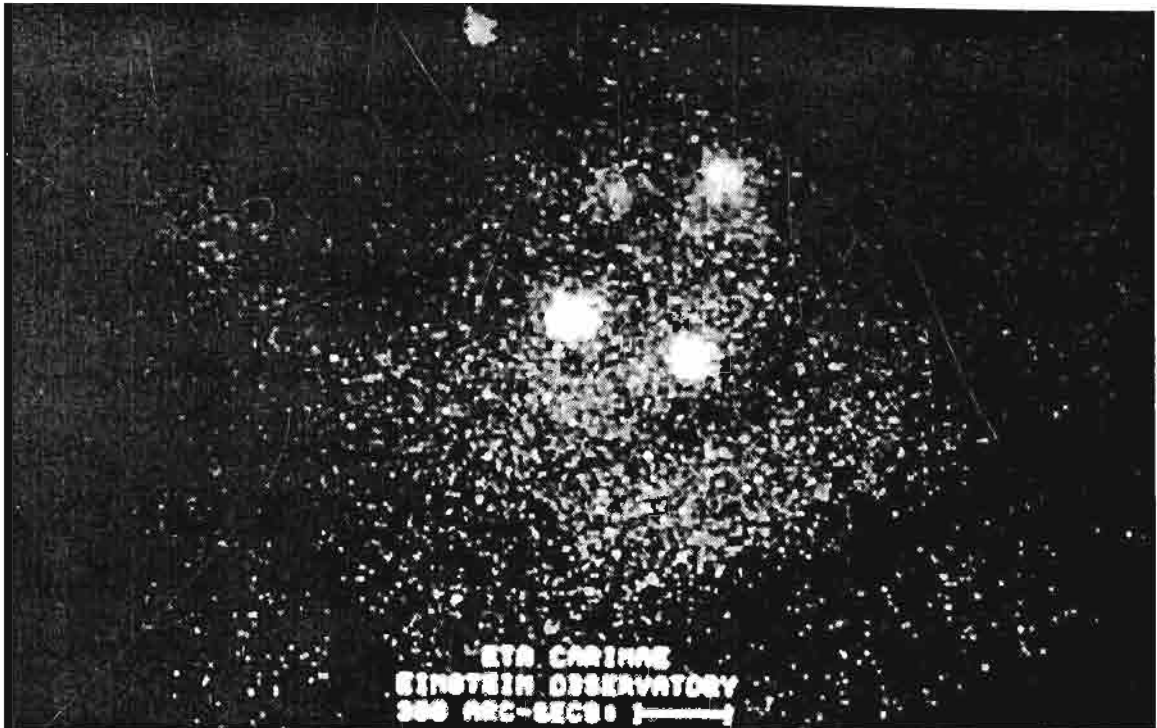
Sl. 310 Velika maglina u Andromedi sa ucrtanim položajima izvora rentgenskog zračenja. Većina izvora smještena je u spiralnim kracima, a uočavaju se i izvori u kuglastim skupovima ili pokraj njih.

ili Small Astronomy Satellite nazvan "Uhuru" dao je prvu mapu rentgenskog neba sa oko 400 izvora. Slijedeća generacija rentgenskih satelita bila je predstavljena sa **HEAO-1** (**H**igh **E**nergy **A**stronomical **O**bservatory). Najznačajniji rezultati u ovom klasičnom dobu rentgenske astronomije, postignuti su putem satelita **HEAO-2** nazvanog "Albert Einstein". On je ponio i prvi teleskop koji je mogao da proizvede stvarne slike rentgenskih izvora. Instrument prečnika 58 cm, bio je snabdjeven posebno napravljenim cilindričnim ogledalima od livenog kvarca koja mogu da koncentrišu fluks X-zraka u fokus gdje se nalazi detektor. Ovaj uređaj bio je snabdjeven i sa sistemom za detekciju spektra rentgenskog zračenja.

Galaktički rentgenski izvori

Posmatranja pokazuju da gotovo sve zvijezde, neovisno o masi ili spektralnom tipu, zrače rentgenske zrake. Posebno snažni izvori su ostaci eksplozija supernovih, poput već pominjane Krab magline. Pulsar koji se nalazi u središtu magline pulsira i u rentgenskom području.

Višegodišnja istraživanja su omogućila da se otkrije i posebna vrsta rentgenskih izvora nazvanih **barsteri** (engl. burster). Prvi put je kratkotrajni bljesak rentgenskih zraka otkriven jednim holandskim satelitom 1975. godine. Bljesak je došao iz kuglastog skupa NGC 6624, a erupcija je trajala oko 20 sekundi. Kasnije su otkriveni i drugi barsteri. Smatra se da ove erupcije nastaju uslijed naglih nuklearnih erupcija na površinama neutronske zvijezde koje su članovi tijesnih dvojnih sistema. U nekim slučajevima moglo bi se raditi i o padu materije na

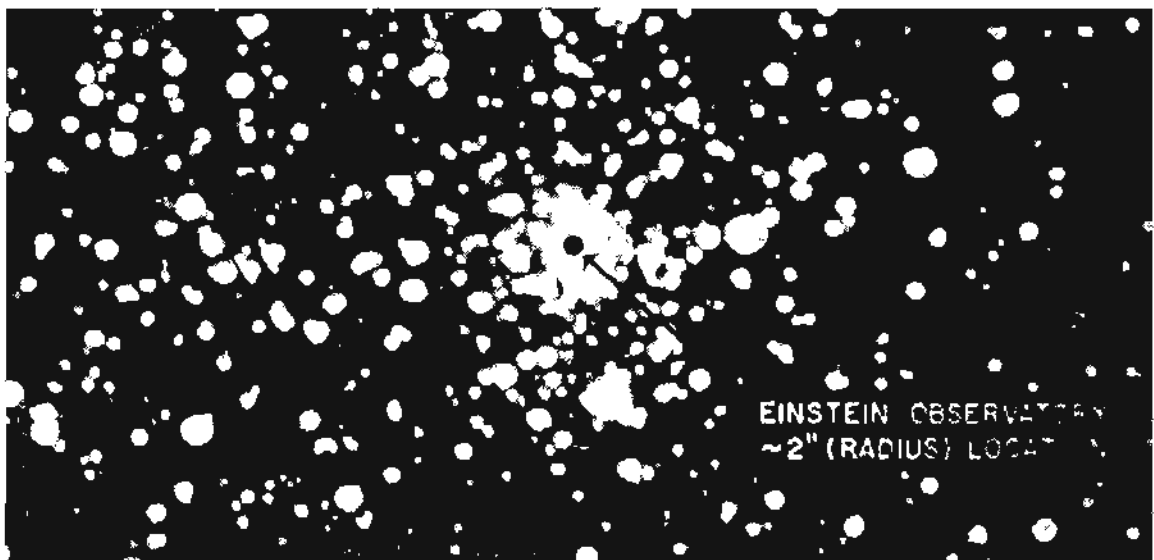


Sl. 311. Rentgenska slika oblasti oko zvijezde Eta Carinae vidljive sa južnih širina, pokazuje postojanje tri jaka izvora rentgenskog zračenja. Snimak satelita "Albert Einstein".

hopotetsku crnu jamu.

Središte naše galaksije bilo je jedna od glavnih meta za sve rentgenske satelite. Iz ove oblasti stiže opće zračenje difuznog tipa. Pored toga, u ovom dijelu spektra, otkriveni su i pojedinačni, diskretni izvori. Jedan od

njih se u priličnoj mjeri podudara sa koordinatama objekta nazvanog Sagittarius-A West koji je poznati radio-izvor. Za ovaj izvor je još ranije ustanovljeno da se nalazi u blizini tačke koja predstavlja stvarno središte naše galaksije Mliječnog Puta.



Sl. 312 Posmatranja vršena u rentgenskim zracima pokazala su da se u središtima nekih kuglastih skupova događaju interesantni procesi. Na fotografiji je označen položaj izvora za koga je ustanovljena erupcija u rentgenskom dijelu spektra. Kod skupa "Terzan 2" to mjesto se podudara sa centrom skupa. Priroda izvora nije poznata i ima pretpostavki da bi se moglo raditi o padu materije na masivnu crnu jamu.

Vangalaktički rentgenski izvori

Prvi vangalaktički izvori na rentgenskom nebu su najprije opaženi u sastavu Velikog i Malog Magellanovog oblaka. Jedan od njih, **SMC X-1**, pokazuje periodične promjene u intenzitetu svog rentgenskog zračenja. Taj period od 3,89 dana je tipičan za eklipsne dvojne sisteme. Optički vidljiva komponenta je plavi superdiv tipa B0, sa masom 16 puta većom od mase Sunca. Nevidljivi pratilac je vjerovatno neutronska zvijezda sa anomalno visokim sjajem u rentgenskom području. Otkriveno je i više izvora koji predstavljaju ostatke eksplozija supernovih.

Bliska spiralna galaksija u Andromedi (M31) sadrži preko stotinu diskretnih izvora. Mnogi od njih nalaze se u sastavu pojedinih kuglastih skupova koji okružuju galaksiju. Istraživanje rentgenskih emisija od pojedinih galaksija pokazalo je da postoji njihova korelacija sa zra-

čenjima u radio području i području vidljivog dijela spektra. To navodi na pretpostavku da je raspored rentgenskih dvojnih sistema (koji su najčešći među diskretnim izvorima) tijesno povezan sa rasporedom mase neke galaksije.

Kod eliptičnih galaksija ustanovljeno je postojanje difuznog rentgenskog zračenja koje dolazi iz oblasti koje sačinjavaju halo oko tih zvjezdanih sistema. U tim oblastima prema ranijim pretpostavkama ne bi trebao postojati vrući plin koji je izvor ovih zračenja.

Kao posebno snažni izvori zračenja pokazale su se galaksije sa aktivnim jezgrima kakva je recimo **NGC 5128**, poznata iz radio-astronomije kao izvor Centaurus-A. U njenom jezgru opaža se tačkasti izvor koji ima povremene erupcije. Ustanovljeno je i slabo rentgensko zračenje koje dolazi iz trake tamne materije. Seyfert-ove galaksije poput **NGC 1275** u Perzeju također su jaki izvori rentgenkog



Sl. 313 Oblast u sazviježđu Eridan. Od tri označena slaba izvora na fotografiji, objekat lijevo dole je zvijezda tipa G koja je u sastavu naše galaksije, dok su druga dva izvora kvazari udaljeni nekoliko milijardi svjetlosnih godina.

zračenja. U većini slučajeva i kvazari predstavljaju sjajne objekte na rentgenskom obzoru. Zračenje kvazara i jezgri aktivnih galaksija objašnjava se na više načina, a većinom se hipoteze svode na masivne crne jame. Naime, rentgenske emisije iz oblasti jezgra aktivnih galaksija često pokazuju promjene u vremenu. To nas vodi na zaključak da je zračenje proizvedeno u blizini kompaktnog objekta koji nije veći od nekoliko svjetlosnih minuta ili svjetlosnih sati. Ove masivne crne jame trebale bi imati mase od 10^7 do 10^9 masa Sunca.

Prilikom posmatranja skupova galaksija utvrđeno je da oni daju opće zračenje koje nastaje udruženim zračenjem svih galaksija i međugalaktičkog plina između njih. Taj vrući plin bi trebao biti izbačen strujanjem iz pojedinih galaksija u vrijeme njihove mladosti. Ovo difuzno rentgensko zračenje je veoma pogodno kao indikator postojanja tzv. nedostajuće mase u galaksijama i skupovima galaksija. Ovakva posmatranja mogla bi napraviti važne pomake u smislu tačnijeg određivanja prosječne gustine materije u svemiru što je od fundamentalnog značaja za astronomiju.

Novi projekti

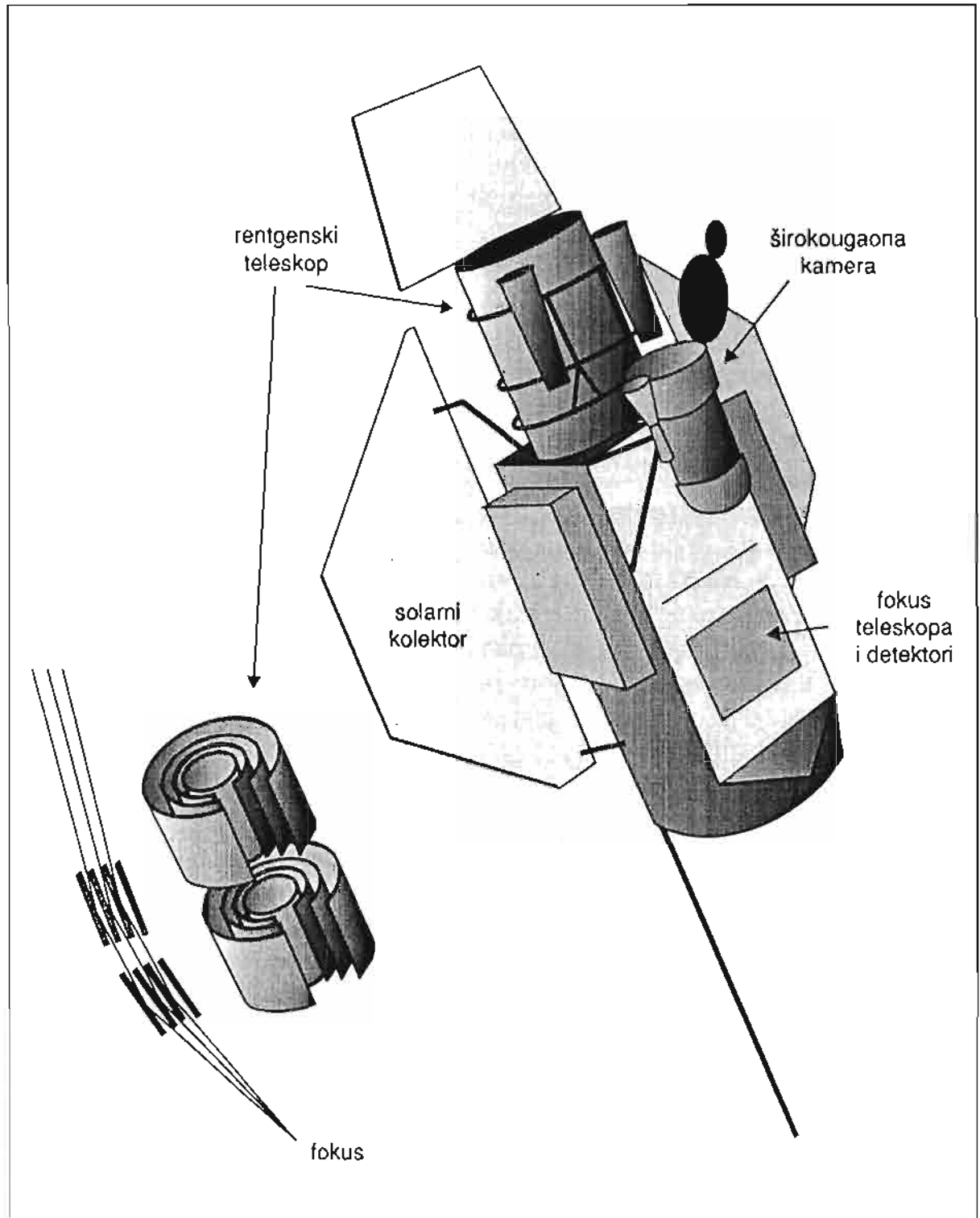
Među novijim programima istraživanja rentgenskog neba potrebno je pomenuti satelit "**Rosat**" (**R**ontgen-**s**atellite). To je zajednički poduhvat naučnika iz Max Planck instituta kod Minhena i jednog britanskog tima iz Leicester-a. NASA je obezbjedila ubacivanje satelita u kružnu orbitu na visini od oko 580 km. Ovaj satelit je snabdjeven "teleskopom" prečnika 84 cm i fokusa 240 cm, te jednom širokougaonom kamerom prečnika 57,6 cm

i fokusnog rastojanja 52,5 cm. U oba slučaja korištena su posebna cilindrična, koncentrično raspoređena "ogledala". Ona su paraboloidna na prednjem i hiperboloidna na stražnjem dijelu. Upadni rentgenski foton "sklizne" niz pozlaćene površine poput kamena bačenog pljoštice na površinu vode. To je jedini mogući način fokusiranja rentgenskih fotona. Teleskop "prikuplja" meke rentgenske zrake sa energijama od 100 do 2000 elektron volti (valne dužine 0,6 do 10 nm)

Sam teleskop posjeduje tri uređaja. Dva od njih su proporcionalni brojači osjetljivi na položaj. Njima je moguće, u polju prečnika 2° , dobiti razdvojnu moć od svega 25 uglovnih sekundi. Treći uređaj omogućava još bolju rezoluciju od svega $3,7''$. U odnosu na detektore satelita "Albert Einstein", "Rosat" je pet puta osjetljiviji i daje tri puta oštriju sliku. Važno je reći da njegovi detektori mogu da registriraju i ekstremne ultraljubičaste zrake, pa je ovo ujedno i instrument za to područje spektra.

Rosat je opskrbljen i uređajima za posmatranja u oblasti ekstremnih ultraljubičastih zraka što je izuzetno važno područje. Ovaj satelit je za posljednjih pet godina omogućio astrofizici prodor u oblasti o kojima se ranije gotovo nije moglo ni razmišljati.

Najambiciozniji projekat na istraživanju rentgenskog neba je američki projekat **AXAF** (**A**dvanced **X**-Ray **A**strophysics **F**acility). To je rentgenska opservatorija čije se lansiranje planira za 1998. godinu. Instrumenti za ovaj satelit biće 100 puta osjetljiviji od onih postavljenih na satelitu "Albert Einstein", a slike koje će na Zemlju stizati biće 10 puta oštrije.



SI.314 "Rosat" sa rentgenskim teleskopom i kamerom. Lijevo je prikazan princip rada rentgenskog teleskopa. Kvanti rentgenskih zraka "skliznu" niz cilindrično raspoređena ogledala od livenog kvarca. Time ih je moguće fokusirati. U fokusu se nalaze uređaji za detekciju koji omogućavaju stvaranje rentgenske slike nekog objekta ili dijela neba.

11. ASTRONOMIJA GAMA ZRAKA

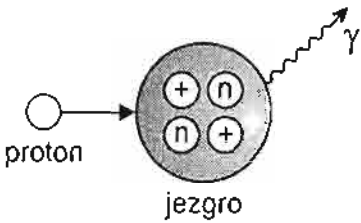
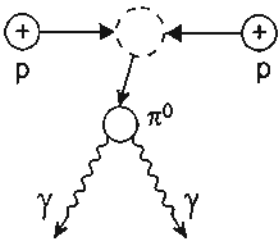
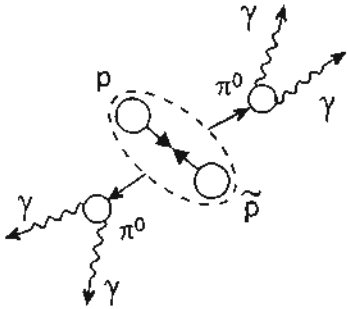
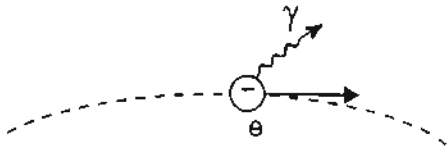
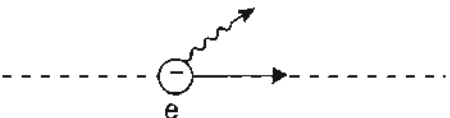
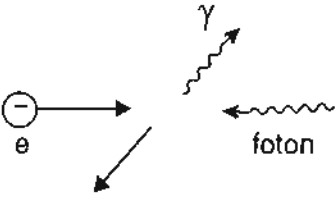
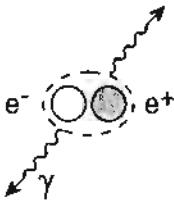
Uvod

Gama astronomija se bavi istraživanjem najkraćih valnih dužina elektromagnetskog spektra, od 0,01 nm pa do ekstremno malih dužina od stotomilijonitog dijela nanometra. Ovo spektralno područje karakteriziraju i najveće energije koje posjeduju kvanti gama zračenja. Donja granica gama područja je uslovljena energijom kvanta od 10^5 eV gdje počinje rentgenska oblast spektra. Gornja granica energija zavisi od metoda registracije i može se govoriti o energijama 10^{13} - 10^{14} eV (10^4 GeV - 10^5 GeV).

Da bi smo razumjeli sa kakvim se problemima sreće gama astronomija, neophodno je reći nešto o samim mehanizmima nastanka gama zračenja. Kvante zračenja određene energije (kod vidljive svjetlosti to su fotoni) ispuštaju pobuđeni atomi ili pobuđena jezgra atoma. Kada su atom ili njegovo jezgro u normalnom stanju, tada se oni nalaze na najnižem mogućem energetskom nivou. Sa prijemom neke količine energije, atom ili jezgro prelaze u pobuđeno stanje. Pri tome se pojavljuje razlika u količini energije

energija				
frekvencija				
125 keV	1,25 MeV	12,5 MeV	125 MeV	1,25 GeV
3×10^{19} Hz	3×10^{20} Hz	3×10^{21} Hz	3×10^{22} Hz	3×10^{23} Hz
tvrdi X zraci	gama zraci			primarni kosmički zraci
0.01nm	0.001nm	10^{-4} nm	10^{-5} nm	10^{-6} nm
valna dužina				

Sl.315. Shema dijela elektromagnetskog spektra koji prekrivaju gama zraci. Nema potpuno jasne granice na kojoj oni prelaze u ono što zovemo kosmičke zrake koje su građene od različitih čestica, enormno velikih energija.

 <p>a) Zračenje jezgra pobuđenog pri udaru protona</p>	 <p>b) Raspad neutralnog π mezona (π^0) nastalog sudarom dva protona (p) na dva gama kvanta</p>
 <p>c) Anihilacija protona i antiprotona stvaranjem π^0 mezona i gama zračenja</p>	 <p>d) Zračenje elektrona u magnetnom polju</p>
 <p>e) Kočeće zračenje elektrona u električnom polju</p>	 <p>f) Obratni Compton-ov efekat</p>
 <p>f) Anihilacija para elektron-pozitron</p>	

SI.316. Crteži a,b,c,d,f i g prikazuju načine nastanka gama zračenja u nizu procesa

između atoma i atomskih jezgri. Ako prelazima između energetske nivoa jednog atoma odgovaraju energije od nekoliko elektron volti, to takvim prelazima u jezgru odgovaraju energije od nekoliko miliona elektron volti. Prilikom zračenja pobuđenih atoma dolazi do emitovanja u područjima infracrvenog, optičkog i ultraljubičastog dijela spektra. Kad se pobude jezgre atoma, tada se pojavljuju elektromagnetska zračenja kraćih valnih dužina kao što su rentgenski i gama zraci.

Da bi se izvršio prelaz jezgri u pobuđeno stanje, potrebne su visoke temperature od oko milijardu stepeni. Takve temperature postoje u središtima nekih zvijezda. No, zračenje iz tih oblasti ne može da izađe van zbog upijanja u gustoj materiji zvijezda. Postoje, međutim, i drugi mehanizmi kojima se jezgre mogu energetski pobuditi. To su njihovi sudari sa veoma ubrzanim česticama koje imaju energije od nekoliko desetina do nekoliko stotina miliona elektron volti.

Gama zračenje se pojavljuje i prilikom mnogih nuklearnih reakcija. Također, elektroni visokih energija rađaju gama kvante u nizu raznih

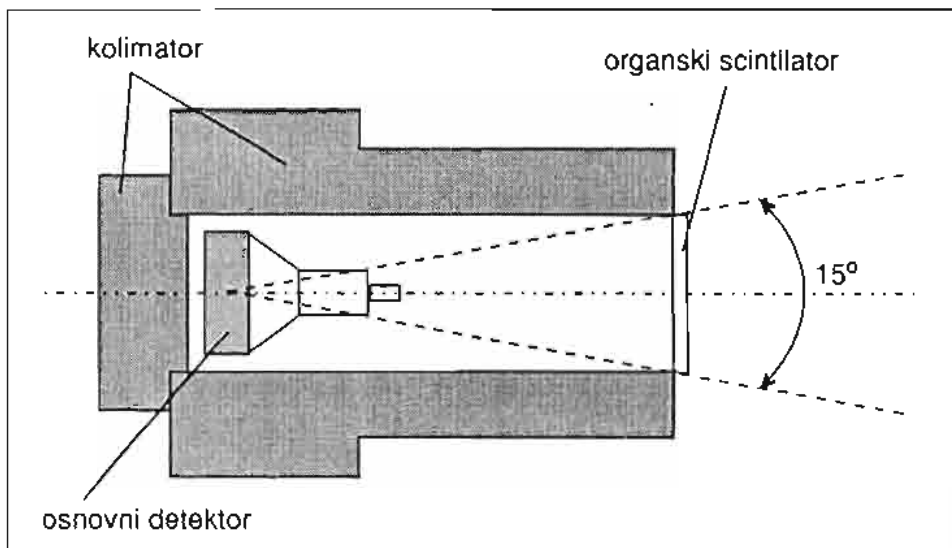
elektromagnetskih procesa kakvi su kočenje, sinhrotronsko zračenje i obratni Compton-ov efekat. Neki od ovih načina prikazani su u nizu crteža na sl. 317.

Gama zraci nam omogućavaju istraživanje svih fenomena i objekata gdje se pojavljuju izuzetno visoke energije. Takvi su sunčevi bljeskovi, eksplozije novih i supernovih zvijezda, bijeli patuljci, neutronske zvijezde i hipotetske crne jame. Također, tu su i gusti međuzvjezdani oblaci u Mliječnom Putu, te jezgra aktivnih galaksija i kvazara. Pogodnost korištenja gama zraka leži u njihovoj prodornosti koja prevazilazi sva druga zračenja elektromagnetskog spektra.

Instrumenti za gama zračenja i gama nebo

Gama zrake, prilikom detekcije, nije moguće fokusirati nekim lećama ili ogledalima. Opažamo ih samo prilikom njihove interakcije sa materijom u instrumentima koji su slični onima koji se koriste u akceleratorima na Zemlji gdje se vrši ubrzavanje elementarnih čestica.

Drugi problem se sastoji u tome što je svemir ispunjen i kosmičkim zracima



Sl.318. Shema "teleskopa" koji se koristi za detekciju gama zraka

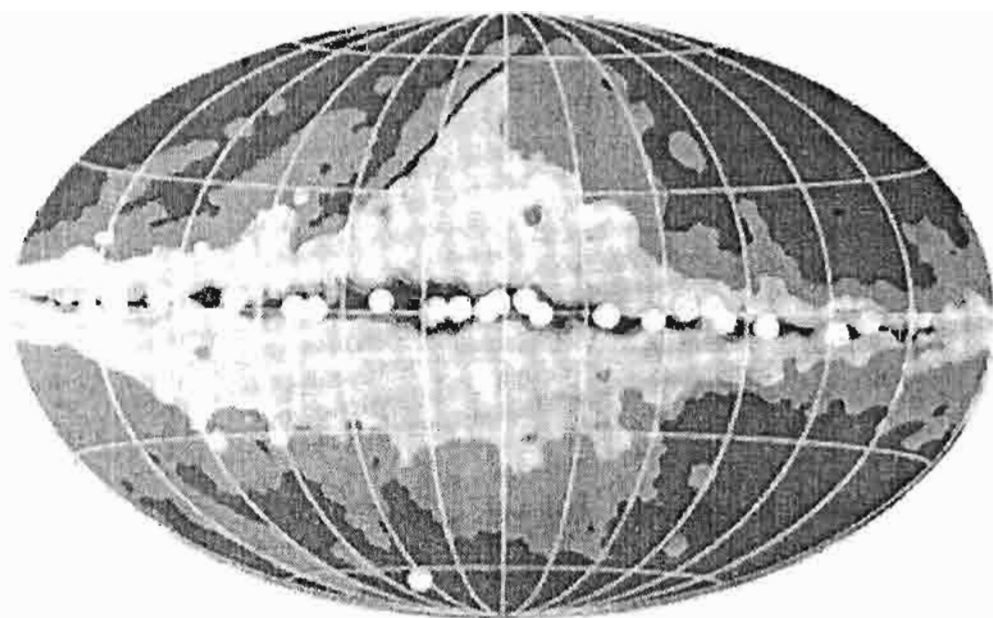
(uglavnom protonima neodređenog porijekla) koji velikim brzinama "bombardiraju" uređaje, pa je neophodno odvojiti njihov udio od čestica koje u detektorima proizvode gama zraci. Kada se radi o "mekim" gama zracima, tj. o zracima nižih energija, tada se koriste neorganski kristalni scintilatori. U novije vrijeme oni se prave od germanija i litija. Kretanje elektrona proizvedenih u kristalu uticajem gama kvanta, dovodi do pojave bljeskova koji se registrišu fotoelektričnim putem. Pri tome se koristi još jedan fotomultiplikator koji je premazan organskim scintilatorom koji reagira samo na naelektrisane čestice koje pripadaju općem "šumu". Gama zraci u ovakvom scintilatoru ne izazivaju nikakve bljeskove.

Da bi se otklonili gama zraci koji dolaze sa strane, odnosno da bi gama teleskop mogao sa dovoljno tačnosti biti usmjeren ka nekom određenom dijelu neba, uvodi se kolimator od nekog materijala koji snažno upija gama zračenje. Vidno polje teleskopa na slici 318 je oko 15° što je u pore-

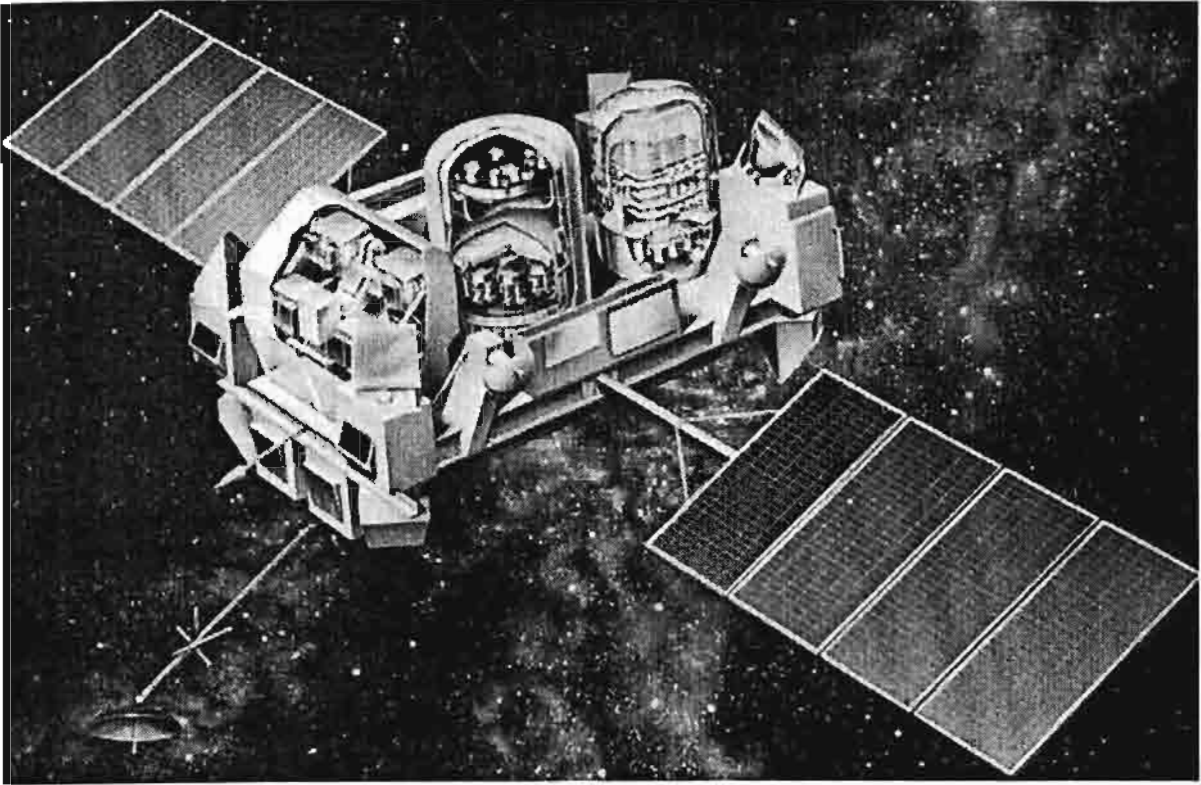
đenju sa optičkim teleskopima veoma neprecizno. Ovakvim i sličnim detektorima mogu se registrirati gama zraci sa energijama do 10 MeV.

Tvrđi gama zraci (energije 10 - 1000 MeV), imaju osobinu da se pri njihovom upijanju rađaju parovi elektron-pozitron. Ugao pod kojim se razleću ove dvije suprotno naelektrisane čestice je obrnuto proporcionalan energiji gama kvanta. Ovaj efekat je iskorišten za konstrukciju brojača kojima se registrišu gama zračenja. Obično se za detekciju parova elektron-pozitron koriste brojači Čerenkovljevog zračenja. Ono se javlja pri kretanju elektrona kroz neku sredinu sa brzinom koja je veća od brzine svjetlosti u toj sredini. Pravac iz koga dolazi Čerenkovljevo zračenje podudara se sa pravcem kretanje naelektrizirane čestice koja je zračenje izazvala. Zato se ovakvim brojačima mogu "birati" čestice koje dolaze u okvirima mogućeg vidnog polja gama teleskopa zavisno od njegovog tipa.

Prva značajnija istraživanja gama neba obavljena su američkim sate-



Sl. 318 Diskretni (pojedinačni) izvori gama zračenja u Mliječnom Putu. Snimak je načinjen detektorima satelita Gama Ray Observatory (GRO) američke NASA-e.



Sl. 319 Izgled GRO (Gama Ray Observatory)

litom **SAS-2** još 1972. godine, a zatim evropskim **COS-B** u periodu od 1975-1982. godine. Na gama nebu dominira Mliječni Put i danju i noću. Najveći dio emisije potiče od reakcija izazvanih prodorom kosmičkih zraka u atome međuzvezdanog plina. Izolovani, diskretni izvori su, pored nekih nepoznatih, pulsari u Krab maglini i maglini Vela, jezgra nekih aktivnih galaksija i naravno poznati kvazar 3C 273.

Najznačajniji projekat na području gama astronomije u posljednoj dekadi dvadesetog stoljeća je **GRO** ili **Gamma Ray Observatory**. Ovaj satelitski kompleks lansiran je pomoću Space shuttle-a "Atlantis", sredinom 1991. godine. On sadrži četiri glavna instrumenta za detekciju raznih tipova gama zraka. U okviru projekta **BATSE** (**Burst and Transient Source Experiment**) posmatra se cijelo nebo pomoću 8 identičnih širokokutnih detektora. Oni

su u stanju da mjere varijacije u intenzitetu gama zraka koje traju tisućinku sekunde i to na rasponu energija od 50 do 600 keV. Kao scintilatori koriste se kristali natrium jodida. Iznenadni bljesak gama zračenja može biti detektovan sa tačnošću u položaju od 1 do 10° , a ako je bljesak istovremeno registriran i na nekom drugom satelitu slične namjene, tada se tačnost povećava do oko jednog ugaonog minuta.

Drugi važan eksperiment nazvan je **OSSE** (**Oriented Scintillation Spectrometer Experiment**) omogućava posmatranje diskretnih izvora sa energijama od 100 000 do 10 miliona eV. Ovaj uređaj sadrži četiri detektora sa vidnim poljem od $3,8^\circ$ puta $11,4^\circ$. OSSE može da odredi položaj izvora sa tačnošću ispod 1° . GRO raspolaže i sa **COMPTEL**-om (**Compton Telescope**), odnosno teleskopom na bazi

Compton-ovog efekta. Tu se radi sa energijama od 1-30 MeV. Upadni kvant gama zraka udara u elektron u ulaznom modulu gdje je tečnost male gustine. Ovim sudarom on gubi dio energije. Uz svjetlosni bljesak foton ide ka drugom modulu koji je udaljen oko 1,5 metara. To je kristal natrium jodida koji ga apsorbira i emitira drugi svjetlosni bljesak. Fotomultiplikator registrira oba bljeska koji sadrže podatke o energiji i smjeru dolaska originalnog gama zraka. Vidno polje Comptel-a je nekoliko desetina stepeni, a rezolucija je nekoliko stepeni. Instrument je u stanju da opazi izvore koji su 100 puta slabiji od pulsara u Krab maglini.

Posljednji od uređaja je **EGRET** (Energetic Gama Ray Experiment Telescope) koji pokriva najširi spektar gama zračenja visokih energija u rasponu od 20 do 30 GeV. Kod snažnijih izvora teorijska tačnost u određivanju položaja kreće se oko 10'.

Već smo pomenuli da Mliječni Put "blista" na gama nebu. Najintenzivnije zračenje dolazi iz samog središta galaksije. Istraživanjem difuznog zračenja Mliječnog Puta moguće je pratiti raspored međuzvezdane materije i time istraživati spiralnu strukturu našeg zvezdanog sistema.

Pored difuznog zračenja izazvanog kosmičkim zracima, identificirano je tridesetak diskretnih izvora gama zračenja. Krab maglina, sa pulsarom NP 0532-22 koja je ostatak eksplozije supernove, među prvim je objektima koji su identificirani kao izvori gama zraka. Najbolje je istražen pulsar zbog periodičnosti kojom odašilje sve vrste zračenja. Tako se i gama zraci javljaju u pulsevima koji traju oko 33 ms. Gama zračenje koje

dopire iz ove oblasti je sinhrotronskog tipa, odnosno zrače ga elektroni krećući se spiralnim putanjama u moćnom magnetskom polju.

Drugi pulsar koji je identificiran kao gama izvor nalazi se u sazviježđu Vela, na južnom nebu. To je ostatak eksplozije koja se desila prije desetak tisuća godina. Pulsar se okreće sa periodom od 63 milisekunde. Pulsar u sazviježđu Vela, PSR 0833-45 nam je bliži od onog u Krab maglini i daleko je oko 1600 svjetlosnih godina.

Od ostalih izvora zanimljiv je Cygnus X-3. Kod njega je ustanovljena periodičnost u intenzitetu gama zračenja koji iznosi oko 4,8 sati. Isti period se pojavljuje i u oblasti rentgenskih zraka gdje je ovaj izvor najprije i opažen. Pretpostavlja se da je to tijesni dvojni sistem. Zračenja kratkih valnih dužina potiču od materije koja rotira u akrecionom disku oko masivnog objekta koji može biti neutronska zvijezda ili crna jama.

Poznati kvazar 3C 273 također se pojavljuje kao još jedan od diskretnih izvora. Čak polovina energije ovog objekta emitira se u gama području.

Posebnu pažnju gama astronoma privlače bljeskovi gama zračenja koji se iznenada pojavljuju. Do sada je uočeno preko 500 ovakvih bljeskova koji su pripisani tzv. gama barsterima. Prava priroda ove pojave još nije jasna. Prema nekim idejama, izvori bi mogli primarno biti neutronske zvijezde. Što se tiče mehanizma nastanka bljeskova gama zračenja, tu bi se moglo raditi o padu komete na površinu zvijezde, termonuklearnoj reakciji izazvanoj strujanjem plina susjedne zvijezde, kada je u pitanju dvojni sistem sa nekim kompaktnim objektom i slično.

12. ASTRONOMIJA KOSMIČKIH ZRAKA, NEUTRINA I GRAVITACIONIH VALOVA

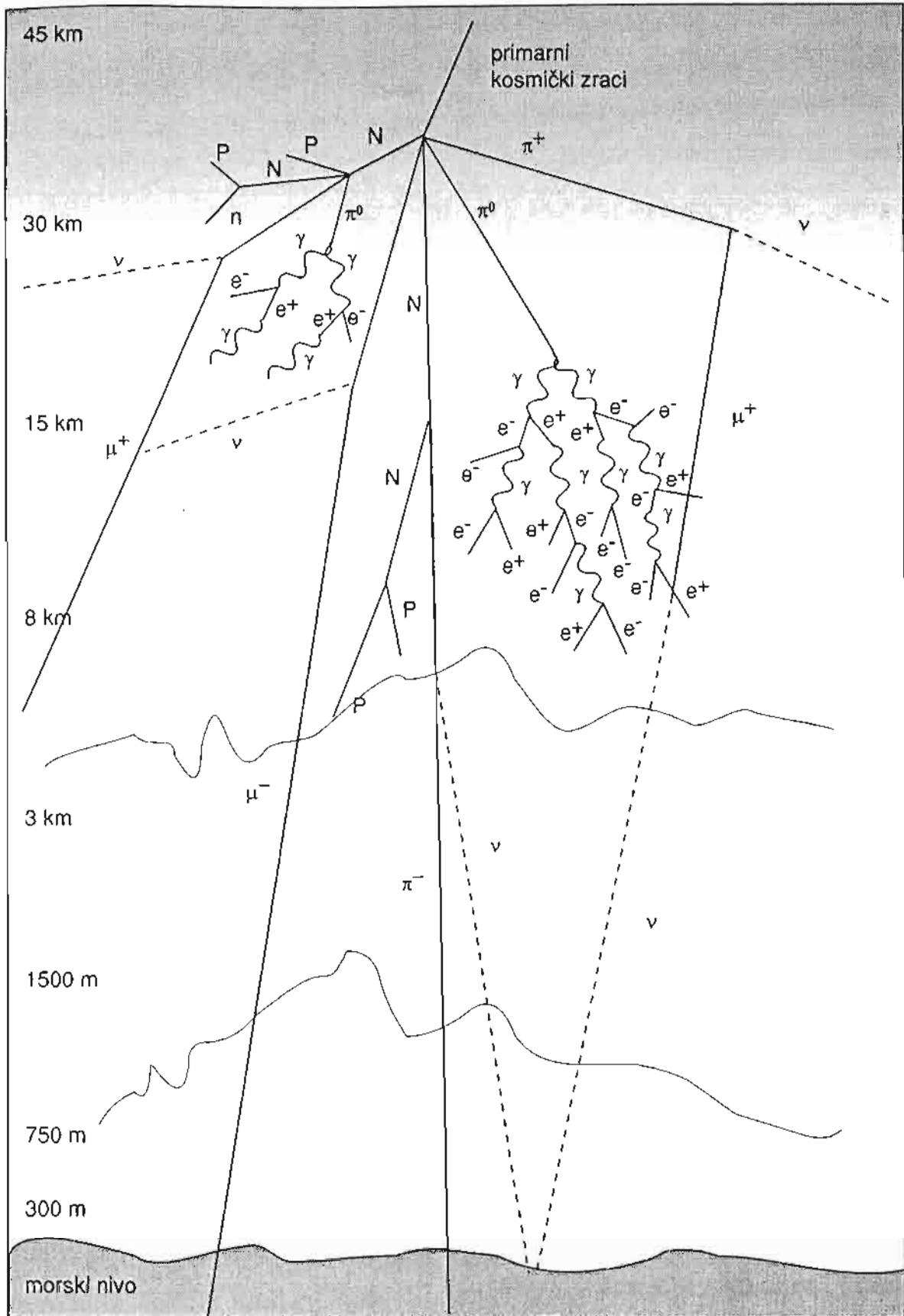
Iz prethodnih opisa pojedinih dijelova elektromagnetskog spektra, jasna nam je njegova važnost u razumjevanju sveukupnosti svemira. Iako nam je elektromagnetni spektar najbitniji izvor informacija o univerzumu, to nije i jedini način da se o njemu nešto sazna. Postoje i druge, "nefotonske" oblasti astronomije koje su za sada u povoju, ali nude sjajne perspektive. Tu spadaju astronomija kosmičkih zraka, neutrina astronomija i astronomija gravitacionih valova.

ASTRONOMIJA KOSMIČKIH ZRAKA

Kosmički zraci su elementarne čestice ogromnih energija. Njima je naša planeta bombardirana svakog trena i to iz svih pravaca u svemiru. Oko 90% čestica koje grade kosmičke zrake su protoni, odnosno jezgra vodika. Oko 9% sastava su jezgra helija, a preostalih 1% čestica su teža jezgra, elektroni i neke antičestice.

Kada primarni kosmički zraci dospiju na granice zemljine atmosfere, oni pogađaju atome raznih plinova. U tom procesu javlja se pravi pljusak čestica koje tvore ono što zovemo sekundarni kosmički zraci. Pri tome se pojavljuju različita atomska jezgra, protoni, neutroni, negativni i pozitivni mezoni (muoni), neutrina i gama zraci. Do same površine dopijevaju jedino neutrina i mezoni. Zbog toga se uređaji za detekciju kosmičkih zraka podižu na velike visine pomoću balona ili postavljaju na satelite. Analizom sekundarnih zraka može se doći do podataka o vrsti, energiji i smjeru primarnih kosmičkih zraka.

Većina čestica u primarnim zracima ima energije između 100 i 1000 MeV. Pošto su to naelektrisane čestice, može ih skrenuti bilo koje magnetsko polje u svemiru. Zbog toga nije moguće ustanoviti da li su oni galaktičkog ili vangalaktičkog porijekla. Dio zraka, sa česticama manjih energija, mogao bi poticati od povremenih eksplozija supernovih zvijezda.



Sl. 320 Nastanak sekundarnih kosmičkih zraka. Kada čestica visoke energije, iz primarnih kosmičkih zraka pogodi neku česticu na rubu zemljine atmosfere, tada nastaje pljusak čestica. Oznake na crtežu su slijedeće: N - jezgra atoma, p - protoni, n - neutroni, e^- - elektroni, e^+ - pozitroni, π^- - negativni, pozitivni i neutralni pi mezoni, μ^- - negativni i pozitivni mi mezoni, ν - neutrini i γ - gama zraci.

NEUTRINSKA ASTRONOMIJA

Ova interesantna oblast mogla bi pružiti odgovore na neka vrlo važna pitanja. U svim astrofizičkim teorijama i modelima zvjezdanih unutrašnjosti, neutrini se pojavljuju kao produkt raznovrsnih procesa. Znamo da ove čestice nisu naelektrisane, da se kreću brzinom svjetlosti i da im je masa mirovanja jednaka nuli. Fizikalno gledano, neutrini pripadaju trima odvojenim familijama elementarnih čestica koje nazivamo **leptoni**. Leptoni su spojeni sa drugim česticama slabim silama i to rezultira odsustvom gotovo ikakvih interakcija ovakvih čestica sa jezgroma atoma i drugim elementarnim česticama, kao i samih leptona između sebe. Naravno, naelektrisani leptoni mogu da stupaju u interakcije sa drugim naelektrisanim česticama i poljima preko elektromagnetskih sila.

U ove tri familije leptona spadaju elektron i pozitron, pozitivni i negativni muon i pozitivni i negativni tauon. Svakom ovom setu koji posjeduje naboj asociran je set neutralnih čestica. To su razni tipovi neutrina i antineutrina.

Zbog svega izloženog, neutrine je izuzetno teško detektirati. Oni su u stanju da prođu kroz zid od stijena debeo 13 000 km, za vrijeme od 40 milisekundi i da pri tome ne stupe u interakciju sa materijom.

Neutrini se rađaju u nuklearnim procesima i u različitim interakcijama između elementarnih čestica. Najpoznatiji je beta raspad pri kome nestabilno jezgro simultano emitira elektron (beta čestica) i neutrino.

Naše Sunce svojim nuklearnim

reakcijama proizvodi potoke neutrina. Prema nekim teorijskim proračunima totalni fluks neutrina iz unutrašnjosti Sunca na površini Zemlje iznosi oko $6,6 \times 10^{10}$ neutrina/cm²s.

Zbog ovog, razvijeni su posebni, ingeniozni metodi za detekciju neutrina. Neutrinski detektori smještaju se duboko pod zemlju, u napuštene rudnike, kako bi se izbjegao uticaj bilo kakvih smetnji. Debeli sloj stijena je dovoljan da zaustavi sve kosmičke zrake i kroz takav sloj bez smetnji mogu proći samo neutrini. Američka Brookhaven National Laboratory smjestila je jedan detektor u rudnik zlata na dubinu od 1480 metara ispod površine. Neutrinski "teleskop" je bio rezervoar sa 610 tona tečnosti za hemijsko čišćenje (tetrahloretilen). Kada neutrino određene energije pogodi atom hlora 37, ovaj se transformira u atom argona. Pri tome se oslobađa jedan elektron.

Dugogodišnji eksperimenti su omogućili detekciju sunčevih neutrina ali ih je opaženo desetak puta manje nego što predviđa teorija. Taj paradoks još uvijek nema pravo objašnjenje.

U novije vrijeme uvode se detektori na bazi germanija i galija. Takođe su uvedeni detektori na bazi Čerenkovljevog efekta.

Supernove zvijezde, neposredno pred eksploziju i tokom nje, oslobađaju velike količine neutrina tokom nuklearnih reakcija koje se tada odvijaju.

Eksplozija bliske supernove u Velikom Magellan-ovom oblaku, 1987. godine, bila je prilika da se to provjeri. Zemaljski detektori su registrirali mlazeve neutrina. Emisija je "uhvaćena" istovremeno pomoću nekoliko neutrinskih detektora smještenih na različitim mjestima planete Zemlje.

ASTRONOMIJA GRAVITACIONIH VALOVA

Hipotetski gravitacioni valovi bi također mogli da pruže odgovore na važna pitanja o svemiru. U skladu sa općom teorijom relativiteta, svaka masa koja je ubrzana, zrači "gravitacione valove". Oni se brzinom svjetlosti šire prostorom. Obzirom na to da se gravitacioni valovi ne upijaju u okolnoj materiji kao što je to slučaj sa elektromagnetskim, to je moguće u ovom području vršiti posmatranja takvih oblasti kakva su npr. središta galaksija.

I ovdje se kao problem postavlja detekcija. Naime, radi se o izuzetno slabim valovima. Prve eksperimente sa gravitacionim valovima vršio je **Joseph Weber** sa univerziteta u Maryland-u. On je koristio masivni aluminijski cilindar sa rezonantnom frekvencijom od 1660 Hz koji je rotirao. Iako je Weber 1970. godine objavio da je uspio detektirati valove pomoću dva cilindra koja su međusobno udaljena oko 1600 km, danas je opće prihvaćeno da to što je detektirano nisu bili gravitacioni valovi.

Druga generacija detektora koji su konstruirani na bazi Weber-ove ideje, hladi se do temperature tečnog helija kako bi se izbjegli šumovi nastali termalnim uticajima. Također su napravljeni i laserski interferometarski detektori.

Moguće izvore gravitacionih valova mogli bi smo podijeliti u dvije grupe. Jedni izvori emituju kontinuirano, a drugi u vidu naglih erupcija. Mogući izvori neprekidnog zračenja bili bi sistemi dvojnih zvijezda, te vibrirajuće zvijezde. Među najvjerovatnije izvore

gravitacionog zračenja u vidu naglih erupcija možemo ubrojiti supernove.

Postoje indirektni metodi za opažanje gravitacionih valova. Pri tome se koriste posmatranja dvostrukih pulsara kakav je recimo PSR 1913+6 u sazviježđu Orla. Ovakvi sistemi se ponašaju kao izuzetno precizni satovi. Kod njih je moguće odrediti orbitalne periode sa ekstremno visokom tačnošću. Pokazalo se da se period kod pulsara u Orlu smanjuje tačno u skladu sa gubitkom energije izazvanim zračenjem gravitacionih valova.

Gravitaciono polje djeluje i kao medijum sa promjenljivim indeksom refrakcije. To znači da se velike mase pojavljuju kao leće slične optičkim. Svjetlost dalekih objekata se savija oko njih i ove **gravitacione leće** mogu da formiraju likove tih objekata. Pri tome, zavisno od međusobnih položaja dalekog objekta, gravitacione leće i nas kao posmatrača, moguće je dobijanje mnogostrukih likova. Astronomskim posmatranjima opažen je veći broj ovih gravitacionih leća. Posebno su česti likovi kvazara. Da se radi o jednom istom objektu dokazuje se identičnim osobinama spektara, radio i drugih zračenja za svaki od likova.

Vrlo često, likovi udaljenih objekata (galaksija) iskrivljeni su u obliku lukova koji se koncentrično raspoređuju oko mase koja je izazvala formiranje ovih likova. To su vrlo često skupovi galaksija koji izazivaju distorziju likova dalekih galaksija smještenih iza njih. Hubble-ov svemirski teleskop je snimio neke od takvih polja na nebu kao što je oblast skupa Abell 2218 u sazviježđu Zmaja koji je udaljen nekih 2 milijarde svjetlosnih godina. Na snimcima se opažaju stotine lukova.

13. CRNE JAME

Mogućnost postojanja crnih jama predvidio je još daleke 1795. godine, **Simon Laplace**. Kao konzekvenca Newton-ove teorije gravitacije, čak ni svjetlost ne bi mogla napustiti površinu dovoljno masivne zvijezde.

Poznato je da se izvori energije zvijezda nalaze u njihovim unutrašnjostima gdje se dešavaju složeni termonuklearni procesi. Fuzijom vodikovih atoma, nastaju atomi helija i oslobađa se izvjesna količina energije. Isijavanjem energije u okolni prostor, zvijezde gube dio svoje mase jer je, prema poznatoj relaciji A. Einsteina, energija ekvivalentna masi, tj.

$$E = mc^2$$

gdje je E - energija, m - masa, a c - brzina svjetlosti.

Uprkos ogromnih količina materije koncentrirane u zvijezdama, nuklearno gorivo će se vremenom istrošiti. Neki proračuni govore da, u slučaju Sunca, pri pretvorbi 600 miliona tona vodika u helij svake sekunde, taj proces može trajati još nekih 5 milijardi godina.

Kasnije može doći i do nekih drugih nuklearnih procesa, kao što je transformacija helija u ugljik i kisik.

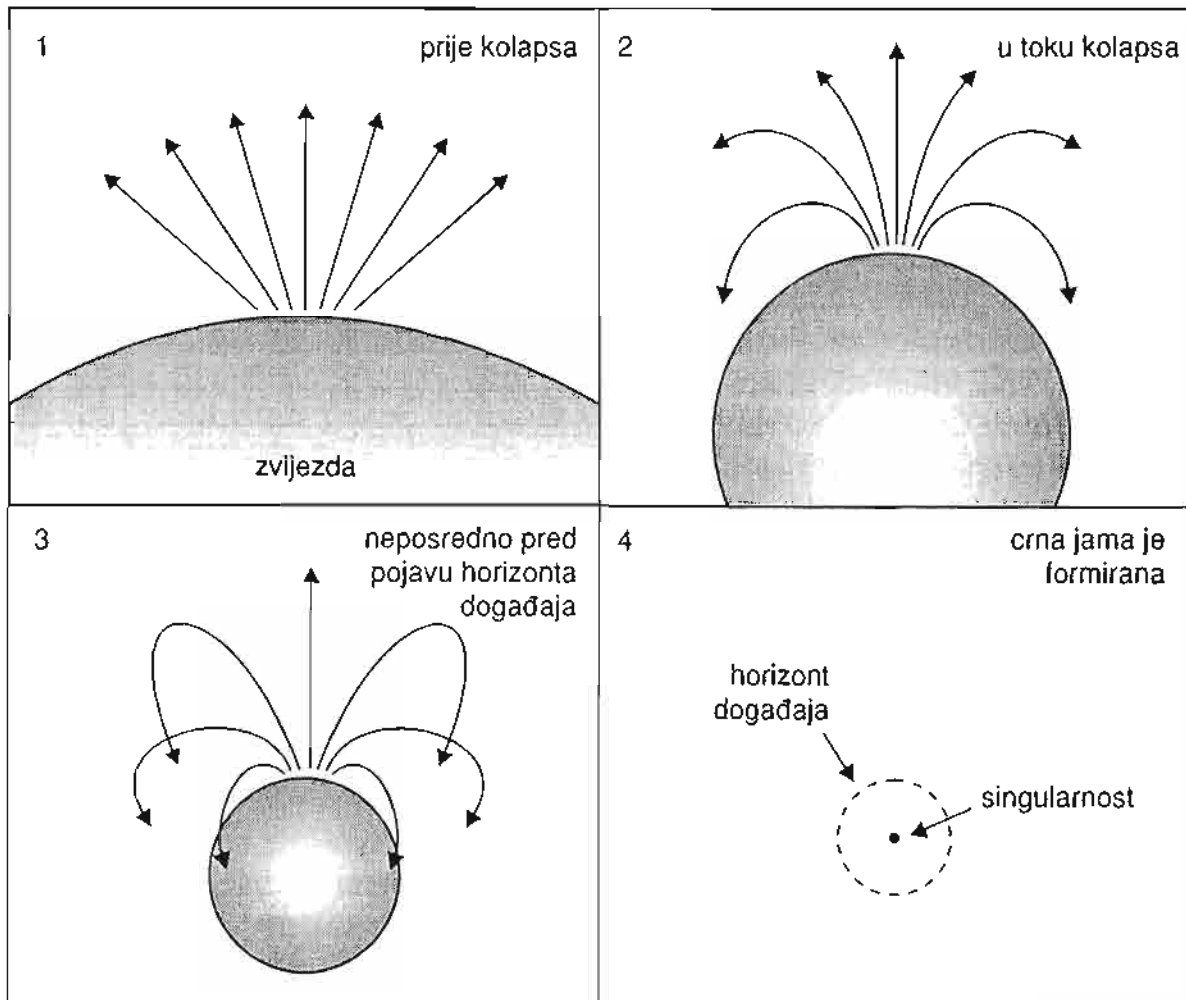
Dok zvijezda ima dovoljne količine vodika, to je golema energija što se oslobađa pri fuziji dovoljna da izazove pritisak koji drži ravnotežu sa gravitacionim silama koje teže da materiju sabiju u jednu tačku. Kada se izvori energije iscrpe, zvijezda počinje da se skuplja. Krajnji ishod tog sažimanja, kako su pokazala brojna teorijska istraživanja, zavisi isključivo od početne mase zvijezde. Ukoliko je ta masa manja od 1,25 mase Sunca, tada će na izvjesnom stepenu te kontrakcije, pritisak elektrona postati dovoljan da zaustavi dalji kolaps. Zvijezda će preći u stanje bijelog patuljka.

U slučaju kada je masa veća od 1,25 sunčevih masa, kolaps će se produžiti. Krajnji rezultat će biti prelazak materije zvijezde u neutronsko stanje i nastanak takvog objekta. Neutronske zvijezde posmatramo kao pulsare još od 1967. godine. Ako je zvijezda imala masu nešto preko 3

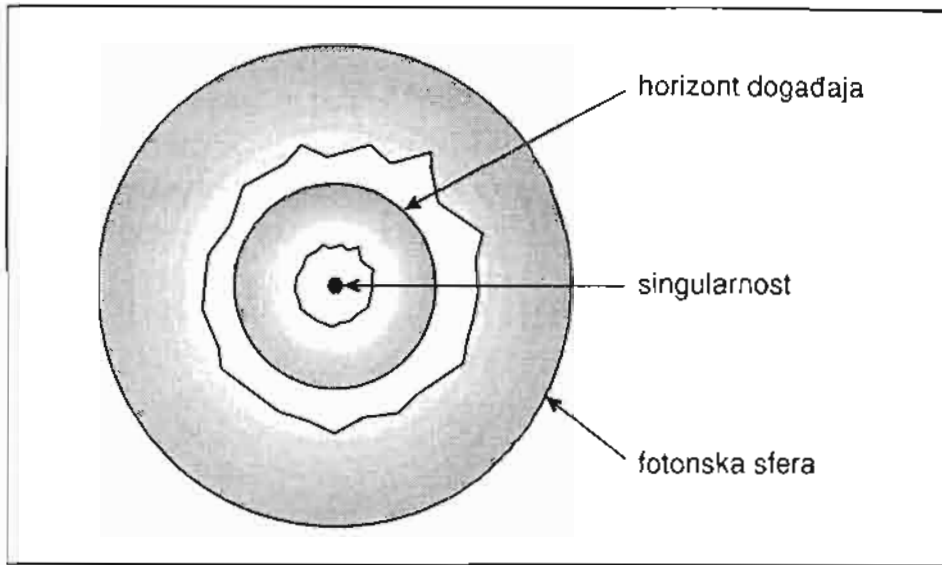
puta veću od mase Sunca, tada ništa više ne može da zaustavi skupljanje. Ne postoji i jedna fizička sila koja je u stanju da to spriječi. Gravitaciona sila, najslabija sila u prirodi, nadvladava sve ostale. U slučaju ovako moćnog gravitacionog polja više nam nisu za dalje opisivanje pojave dovoljni zakoni klasične fizike. Pomoći nam može jedino opća teorija relativiteta. U skladu sa postavkama ove Einstein-ove teorije gravitacije, krivina prostora-vremena oko zvijezde postaje tako velika da ona u potpunosti iščezava za vanjski svijet. Objekat koji je nastao naziva se **crna jama**.

Ono što se dešava u tou procesa kolapsa jedne zvijezde možemo, u grubljem opisu, pratiti na slijedeći

način. Postavićemo nekog hipotetičnog posmatrača na površinu zvijezde koja je otpočela sa skupljanjem. U vrijeme kada je gravitaciono polje relativno slabo, sva svjetlost koju on šalje nekom baterijskom lampom, napustiće zvijezdu (slučaj 1. na slici 321). Kada kolaps uznapređuje, svjetlost poslana pod većim uglom u odnosu na vertikalu više neće napuštati površinu zvijezde (slučaj 2. na sl.321). Ovaj konus u kome svjetlost napušta zvijezdu postajaće sve uži i uži. U jednom trenutku, čak ni svjetlost više neće moći da izađe napolje. Tada kažemo da je naš hipotetični posmatrač prošao kroz tzv. **horizont događaja**. Istovremeno, formira se crna jama (slučaj 4 na sl.321).



SI.321 Faze gravitacionog kolapsa jedne zvijezde



Sl. 322 Shema crne jame

Prošavši kroz horizont događaja, zvijezda nastavlja da se skuplja. Pritisak postaje fantastično velik i ono što znamo kao materiju ne bi smo mogli više prepoznati. Teorijski, čitava masa zvijezde je koncentrirana u jednoj tački gdje bi pritisak i gustina bili beskonačno veliki, a zapremina ravna nuli. U realnosti, nema beskonačnih veličina. Ovakvo stanje teoretičari posmatraju kao **singularnost**. Pri tome do izražaja dolaze i relativistički efekti, posebno oni vezani za vrijeme.

Osnovna fizikalna karakteristika svake crne jame je njena masa. Veličina crne jame je data tzv. **Schwarzschild-ovim radiusom**:

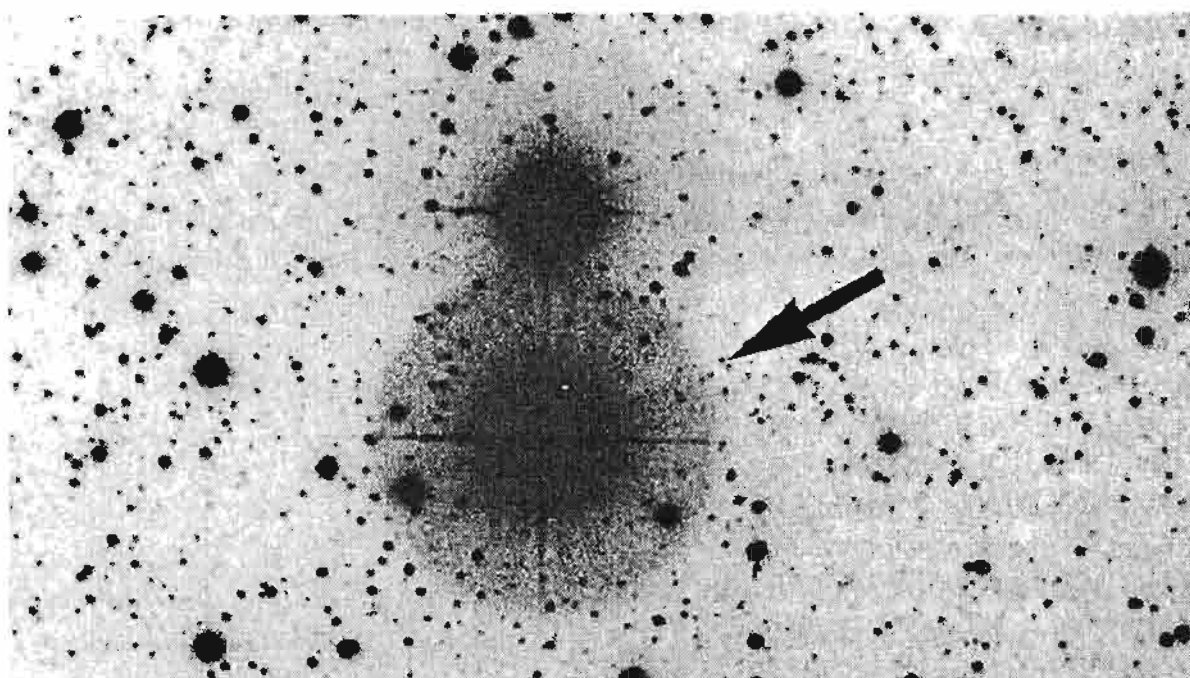
$$R_s = \frac{2GM}{c^2}$$

gdje je G - gravitaciona konstanta, M - masa crne jame, c - brzina svjetlosti. Za crnu jamu mase Sunca, ovaj radius bi iznosio oko 3 km. Kada bi smo imali nekog putnika koji se zvjezdanim brodom približava crnoj jami (pri tome zanemarujemo činjenicu da bi bio razoren silom gravitacije), tada će se

on, za vanjskog posmatrača, beskonačno dugo približavati horizontu događaja. Vrijeme će se rastezati i on nikada neće preći tu barijeru. Međutim u sistemu našeg putnika, on će, mjereći vrijeme svojim satom, zaključiti da mu je za prolaz kroz horizont događaja potrebno konačno mnogo vremena. Relativistički gledano, obojica su u pravu.

Prethodno opisani način nastanka crne jame odnosi se na idealni slučaj nerotirajućeg kuglastog objekta. U stvarnosti, sve zvijezde rotiraju i mnoge nemaju kuglast oblik. I za takve slučajeve nađeni su odgovarajući teorijski modeli. Ipak teorija ne dokazuje postojanje crnih jama već samo dozvoljava mogućnost da one egzistiraju.

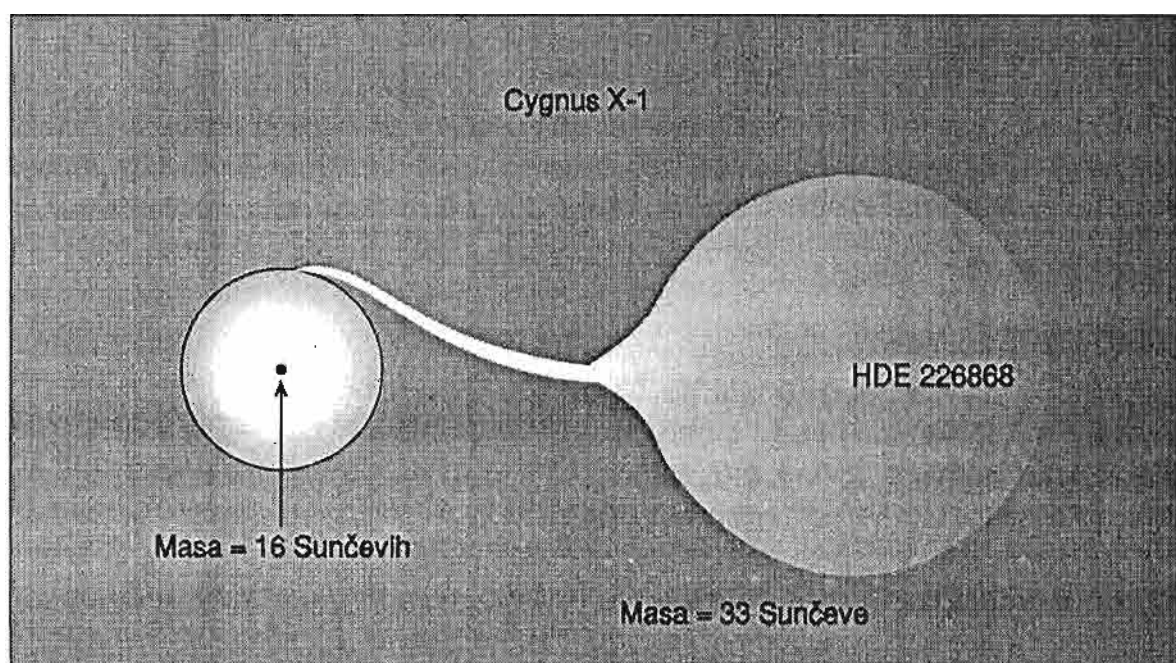
Zbog činjenice da nikakvi signali iz područja ispod horizonta događaja ne mogu da prodru van, posmatranje crnih jama u direktnom smislu nije moguće. Jedino možemo tragati za efektima koje one proizvode na susjedna tijela. U tijesnim dvojnim sistemima je moguće opaziti efekte



Sl. 323 Plavi div, zvijezda HDE 226868 u sazviježđu Labuda ili Cygnus X-1 bio je jedan od prvih kandidata za dokaz o postojanju crnih jama.

takvog uticaja. Tako je u sazviježđu Labuda otkrivena divovska plava zvijezda HDE 226868 udaljena od Sunca 8000 svjetlosnih godina. Od Sunca je masivnija 33 puta, a posmatranja satelitom "Uhuru" pokazala su da je to jak izvor rentgenskih zračenja. Ustanovljeno je da se ovdje radi o tijesnom dvojnog sistema gdje je

pratilac nevidljiv. Prema nekim mjerenjima pratilac bi trebao imati masu od 16 sunčevih, a radius mu nije veći od 50 km. Njegovo moćna gravitacija je dovoljna da izazove deformaciju divovske plave zvijezde iz kuglastog u kapljasti oblik. Iz tačke koja se nalazi na najizduženijem dijelu, materija sa glavne zvijezde struji prema nevid-



Sl.324 Shema mogućeg izgleda dvojnog sistema Cygnus X-1

ljivom pratiocu koji bi po opisanim osobinama mogao biti crna jama.

Otkriveno je da intenzitet rentgenskog zračenja koje dolazi iz oblasti oko zvijezde HDE 226868 pored kratkoperiodičnih promjena od 5,5 dana, pokazuje i dugoperiodične promjene koje imaju ciklus od 294 dana. Zato je pretpostavljeno da se u sistemu nalazi i treća zvijezda.

Od drugih kandidata najviše pažnje privlače dvojni sistem u Velikom Magellan-ovom oblaku, nazvan LMC X-3 i sistem A0620-00 otkriven britanskim satelitom "Ariel 5". Mogući izgled ta dva sistema dat je na slici 325.

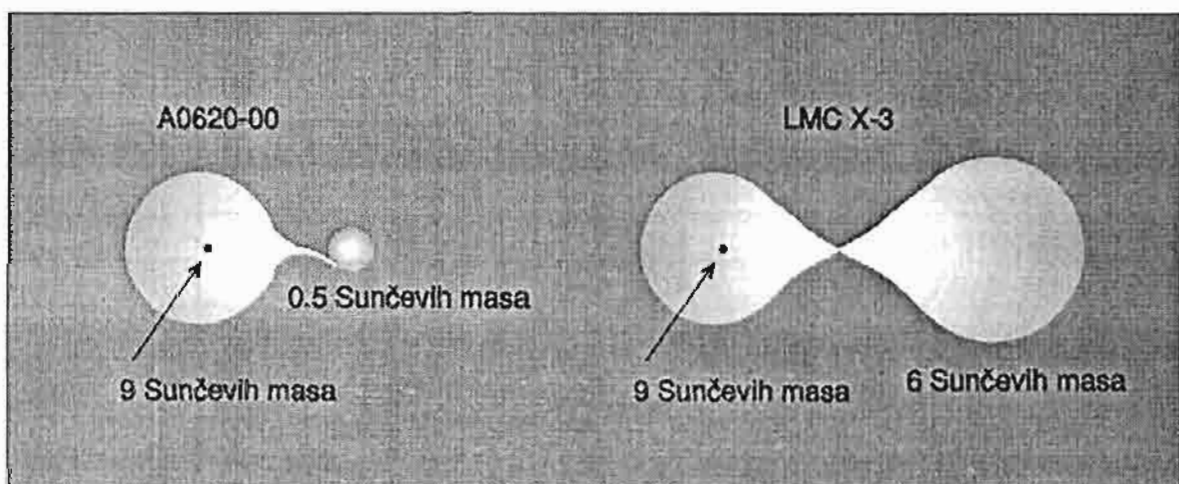
Važno je napomenuti da posmatranja kvazara, jezgri aktivnih galaksija, pa i običnih galaksija poput Mliječnog Puta, sugeriraju da je za objašnjenje nekih pojava nužno uvesti crne jame. Te supermasivne crne jame mogle bi objasniti ogromnu energiju kvazara ili aktivnih galaksija.

Posljednjih decenija dosta teoretičara se bavilo problematikom crnih jama. **Stephen Hawking** je 1971. godine došao do koncepta tzv. **mini crnih jama**. Po njemu, u vrijeme rađanja našeg svemira, tokom Velikog

praska, mogli su biti ostvareni takvi pritisci da bi se i manje količine mase mogle sabiti u crne jame. Njihove dimenzije bi mogle biti reda veličine dimenzija atoma ili atomskih čestica. Po Hawking-u, u svemiru bi se mogli nalaziti i trilioni ovakvih crnih jama koje bi mogle poslužiti kod objašnjavanja raznih egzotičnih pojava u svemiru.

Nešto kasnije, isti fizičar je pokazao da u gravitacionim poljima crnih jama postoji mogućnost stvaranja i emitiranja čestica. Pri tome bi se radilo o tzv. virtuelnim česticama tj. česticama koje se stvaraju u vakuumu pod dejstvom jakih polja. Na taj način se došlo do zaključka da se masa crnih jama vremenom može smanjivati. Pri tome, snaga zračenja i temperatura rastu i jama može na kraju da eksplodira. Bitno je reći da samo crne jame malih masa imaju šansu da u dovoljno dugom vremenskom periodu eksplodiraju. Prilikom eksplozija trebalo bi se emitirati i gama zračenje.












Problematika crnih jama je veoma fascinantna i predstavlja jedan od najvećih intelektualnih izazova na kraju dvadesetog stoljeća koji ima i različite filozofske implikacije.



Sl.325 Mogući izgled i mase komponenti dvojnih sistema A0620-00 i LMC X-3

14. DODATAK

14.1. ASTRONOMSKI SIMBOLI

Simbol	Naziv
	Sunce
	Mjesec
	Merkur
	Venera
	Zemlja
	Mars
	Jupiter
	Saturn
	Uran
	Neptun
	Pluton

Simbol	Naziv
	zvijezda
	kometa
	meteor
	uzlazni čvor
	silazni čvor
	konjunkcija
	kvadratura
	opozicija
	mladi mjesec
	prva četvrt
	pun mjesec
	zadnja četvrt
	proljetna tačka
	jesenja tačka

14.2. OZNAKE U NEBESKIM KOORDINATNIM SISTEMIMA

Oznaka	Naziv	Oznaka	Naziv
α	rektascenzija	h	visina
δ	deklinacija	z	zenitno rastojanje
λ	ekliptička longituda	λ	geografska dužina
β	ekliptička latituda	φ	geografska širina
l	galaktička longituda	N	sjever
b	galaktička latituda	S	jug
t	satni ugao	E	istok
A	azimut	W	zapad

14. 3. GRČKI ALFABET

Slovo	Naziv	Slovo	Naziv	Slovo	Naziv	Slovo	Naziv
α	alfa	η	eta	ν	ni	τ	tau
β	beta	θ	theta	ξ	ksi	υ	ipilon
γ	gama	ι	iota	\omicron	omikron	ϕ	fi
δ	delta	κ	kapa	π	pi	χ	hi
ϵ	epsilon	λ	lambda	ρ	ro	ψ	psi
ζ	zeta	μ	mi	σ	sigma	ω	omega

14. 4. ZNAKOVI ZODIJAKA

φ	Ovan	ν	Vaga
$\♉$	Bik	$\♏$	Škorpion
$\♊$	Blizanci	$\♐$	Strijelac
$\♋$	Rak	$\♑$	Jarac
$\♌$	Lav	$\♒$	Vodolija
$\♍$	Djevica	$\♓$	Ribe

14. 5. OSNOVNE KONSTANTNE VELIČINE I JEDINICE KOJE SE KORISTE U ASTRONOMIJI

Brojevi	
π	3,141 592 653 6
π^2	9,869 604 401 1
$\log\pi$	0,497 149 872 7
$\ln\pi$	1,144 729 885 8
e	2,718 281 828 5
Uglovi	
1 rad	57,295 779 513 ^o
1 ^o	0,017 453 292 5 rad
1 sr (steradian)	3 282,806 ^o
Udaljenosti	
1 AU (astronomska jedinica)	149 597 870 km
1 svjetlosna godina (light year)	1 ly = 63 240 AU = 9,460 10 ¹² km
1 pc (parsek)	3,261 633 svjetlosne godine = = 206 264,806 AU = = 3,0856 10 ¹³ km
1 Mpc (megaparsek)	10 ⁶ pc

Vremenske jedinice	
sekunda (s)	osnovna jedinica SI
Efemeridska sekunda (s_E)	1/31 556 925,974 7 tropske god.
Atomska sekunda (s_A)	vrijeme trajanja 9 192 631 770 perioda zračenja cezija 133
Srednja sunčeva sekunda (s_U)	1/86 400 sred. Sunčevog dana
Dan (sred. sunčev dan; 1 d)	24 h = 86 400 s
Zvezdani dan	23 h 56 m 4,098 s
Godina (tropska godina)	365,242 2 d
Zvezdana godina	365,256 4 d
Anomalistička godina	365,259 6 d
Julianska godina	365,25 d
Gregorijanska (kalendarska) godina	365,242 5 d
Sinodički mjesec	29 d 12 h 44 m 2,9s = = 29, 530 588 d
Siderička mjesec	27 d 7 h 43 m 19,2 s = = 27,321 661 d
Konstante	
Konstanta gravitacije (G, γ)	$6,672 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}\text{s}^{-2}$
Planck-ova konstanta (h)	$6,626 \cdot 20 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$
Boltzmann-ova konstanta (k)	$1,38062 \cdot 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$
Plinska konstanta (R)	$8,314 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$
Avogadrova jedinica (N_A)	$6,022 \cdot 17 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Fizička atmosfera (atm)	0,101 325 Mpa = 760 mmHg
Ostale bitne veličine	
Opća precesija (P) (za epohu 2000,0)	50, 290 966 " godišnje
Nagib ekliptike (za epohu 2000,0)	$23^\circ 26' 21,448''$
Konstanta aberacije (K) (za epohu 2000,0)	20,495 52"
Konstanta nutacije (N) (za epohu 2000,0)	9,210 9"
Masa Zemlje	$5,9742 \cdot 10^{24} \text{ kg}$
Masa Sunca	$1,9891 \cdot 10^{30} \text{ kg}$
Masa Mjeseca	$7,3483 \cdot 10^{22} \text{ kg}$
Poluprečnik Zemlje (a) (ekvatorski)	6 378,140 km
Poluprečnik Sunca (R)	695 990 km
Poluprečnik Mjeseca	1 738,2 km

4.6. PLANETE SUNČEVOG SISTEMA

Naziv planete	Srednja udaljenost od Sunca (u mil. km)	Nagib ravni orbite prema ekliptici (u stepenima)	Trajanje sideričke godine	Ekvatorski prečnik (u km)	Masa Zemlja = 1	Gustina (kgm-3)
Merkur	57,9	7,0	87,969 d	4 878	0,0553	5534
Venera	108,2	3,4	224,701 d	12 104	0,815	5240
Zemlja	149,6	0,0	365,256 d	12 756	1	
Mars	228,0	1,8	1,88 god	6794	0,1074	3930
Jupiter	778,3	1,3	11,86 god	142 796	317,94	1314
Saturn	1 427,0	2,5	29,48 god	120,536	95,17	690
Uran	2 869,6	0,8	84,01 god	50 800	14,53	1710
Neptun	4 496,7	1,8	164,79 god	48 600	17,24	1770
Pluton	5 878,2	17,1	246,31 god	2 200	0,0017	2000

4.7. SATELITI PLANETA

Latinski naziv	Bosanski naziv	Prečnik (km)
Zemljini sateliti		
Luna	Mjesec	3 476
Marsovi sateliti		
Phobos	Fobos	25x20
Deimos	Deimos	16x10
Jupiterovi sateliti		
Io	Io	3 632
Europa	Evropa	3 126
Ganymedes	Ganimed	5 276
Kallisto	Kalisto	4 820
Amalthea	Amalteja	420
Himalia	Himalia	160
Elara	Elara	60
Pasiphae	Pasifa	16
Sinope	Sinopa	20
Lysithea	Liziteja	18
Carme	Karma	22
Ananke	Ananka	16
Leda	Leda	14
Thebe	Teba	80
Adrasthea	Adrastea	24
Metis	Metis	40
Saturnovi sateliti		
Mimas	Mimas	390

Enceladus	Encelad	500
Tethys	Tetida	1 050
Dione	Diona	1 120
Rhea	Rea	1 510
Titan	Titan	5120
Hyperion	Hiperion	320
Japetus	Japet	1 440
Phoebe	Feba	320
Janus	Janus	180
Epimetheus	Epimetej	120
Prometheus	Prometej	
Telesto	Telesto	50
Calypso	Kalipso	60
Atlas	Atlas	60
Pandora	Pandora	
Helena	Helena	
Uranovi sateliti		
Miranda	Miranda	480
Ariel	Ariel	1 160
Umbriel	Umbriel	1 190
Titania	Titania	1 600
Oberon	Oberon	1 550
Cordelia	Kordelija	15
Ophelia	Ofelija	24
Bianca	Bjanka	50
Cressida	Kresida	80
Desdemona	Dezdemonna	50
Juliet	Julija	80
Portia	Portia	100
Rosalind	Rozalinda	50
Belinda	Belinda	50
Puck	Pak	160x170
Neptunovi sateliti		
Triton	Triton	2 720
Nereid	Nereida	500
Najad	Najada	400
Thalassa	Talasa	200
Despoina	Despina	160
Galatea	Galateja	140
Larissa	Larisa	90
Proteus	Proteus	50
Plutonovi sateliti		
Charon	Haron	1 100

14.8. NAJBЛИŽE ZVIJEZDE

Naziv (oznaka zvijezde)	Sopstveno kretanje	Udaljenost (svj.godine)	Prividna veličina	Apsolutna veličina	Spektralni tip
Sunce			- 26,8	4,8	G2
Proksima Centauri	3,85"	4,29	11	15,4	M5e
Centauri A	3,68	4,39	0,02	4,5	G2
Centauri B	3,68	4,39	1,3	5,8	K6
Barnardova zvijezda	10,31	5,90	9,5	13,2	K5
Wolf 359	4,71	7,6	13,5	16,7	M8e
BD=36 2147	4,78	9,1	7,5	10,5	M2
Sirius A	1,33	8,6	- 1,5	1,4	A1
Sirius B	1,33	8,6	8,3	11,2	DA

14.9. NAJSJAJNIJE ZVIJEZDE

Naziv (oznaka zvijezde)	Udaljenost (parsek)	Prividna veličina	Apsolutna veličina	Spektralni tip
α And	39	2,03	- 0,9	B9p
β Cas	14	2,4	+ 1,5	F2IV
α Cas	45	2,22	- 1,0	K0 II-III
β Cet	18	2,04	+ 0,7	K1 III
γ Cas	190	2,59	- 3,9	B0e IV
β And	23	2,06	+ 0,1	M0 III
α UMi	240	2,3	- 4,6	F8 Ib
γ And	75	2,13	- 2,2	K3 II
α Ari	23	2,00	+ 0,2	K2 III
α Cet	40	2,00	- 1,0	M6e III
α Cet	45	2,52	- 0,7	M2 III
β Per	32	2,2	- 0,3	B8 V
α Per	160	1,80	- 4,3	F5Ib
α Tau	21	1,06	- 0,7	K5 III
α Aur	14	0,08	- 0,6	G8+F
β Ori	250	0,11	- 7,0	B8 Ia
γ Ori	93	1,63	- 3,3	B2 III
β Tau	55	1,65	- 2,0	B7 III
δ Ori	460	2,50	- 6,1	O9,5 II
α Lep	300	2,58	- 4,7	F0 Ib

ϵ Ori	470	1,70	- 6,7	BO Ia
ζ Ori	450	1,79	- 6,4	O9,5 Ib
κ Ori	560	2,05	- 6,8	BO,5 I
α Ori	200	0,4	- 6	M2 I
β Aur	27	1,90	- 0,2	A2 V
β CMa	200	1,98	- 4,5	B1 II
γ Gem	31	1,93	- 0,4	AO IV
α CMa	2,7	-1,45	- 1,41	A1 V
ϵ CMa	200	1,50	- 5,0	B2 II
δ CMa	600	1,84	- 7,3	F8 Ia
η CMa	750	2,42	- 7,0	B5 Ia
α Gem	14	1,58	+ 0,85	A1 V+A
α CMi	3,5	0,35	+ 2,65	F5 IV
β Gem	11	1,15	+ 0,95	KO III
ζ Pup	700	2,25	- 7,0	O5
α Hya	60	2,16	- 0,4	K3 III
α Leo	26	1,35	- 0,6	B7 V
γ Leo	33	2,3	- 0,5	KO III
β UMa	24	2,37	+ 0,5	A1 V
α UMa	32	1,79	- 0,7	KO III
δ Leo	24	2,55	+ 0,7	A4 V
β Leo	13	2,14	+ 1,58	A3 V
γ UMa	25	2,43	+ 0,5	AO V
γ Crv	85	2,59	- 2,0	B8 III
ϵ UMa	25	1,7	- 0,2	AOp
ζ UMa	27	2,09	0,0	A2 V
α Vir	80	1,2	- 3,4	B1 V
η UMa	45	1,86	- 1,6	B3 V
α Boo	11	- 0,06	- 0,2	K2p III
ϵ Boo	35	2,39	- 0,2	K1 III+A
β UMi	32	2,07	- 0,5	K4 III
α CrB	23	2,3	+ 0,5	AO V
δ Sco	180	2,32	- 4,0	BO V
β Sco	180	2,52	- 3,8	BO,5 V
α Sco	130	1,2	- 4,7	M1 Ia
ζ Oph	190	2,56	- 3,8	O9,5 V
η Oph	21	2,44	+ 0,8	A2 V
α Oph	18	2,07	+ 0,8	A5 III
γ Dra	36	2,22	- 0,6	K5 III
α Lyr	8,1	0,04	+ 0,5	AO V
δ Sgr	80	2,08	- 2,5	B2 V

α Aql	5,0	0,77	+ 2,3	A7 V
γ Cyg	150	2,23	- 4,7	F8 Ib
α Cyg	500	1,25	- 7,3	A2 Ia
α Cep	16	2,43	+ 1,5	A7 IV-V
α PsA	7,0	1,16	+ 1,9	A3 V
α Peg	33	2,49	- 0,1	B9,5 III

14.10. SJAJNIJE VIZUELNE DVOJNE ZVIJEZDE

Zvijezda	Prividni sjaj komponenti		Spektar komponenti	
η Cas	3,44	7,18	GOv	K5
Sirius	- 1,47	8,64	A1v	DA
Procyon	0,34	10,64	F5v	DF
ε Boo	4,66	6,70	G8v	K5
ζ Her	2,91	5,54	GOv	dKO
70 Oph	5,09	8,49	KOv	K4
Kruger 60	9,82	11,37	dM4	dM6
α Pis	5,55	5,82	dB9	dB9
γ Ari	4,83	4,75	AOp	AOp
γ And	2,28	5,08	gKO	AO
α Gem	1,96	2,89	A2	AO
γ Leo	2,61	3,80	gKO	gG5
γ Vir	3,66	3,68	dFO	dFO
α CVn	2,90	5,39	B9p	FOV
β^1 Sco	2,90	5,00	dB1	dB3
γ Cyg	3,24	5,36	KO	B9

14.11. SJAJNIJI RASIJANI SKUPOVI

Naziv skupa	Oznaka NGC ili IC	Udaljenost (pc)	Ugaoni prečnik (')	Ukupni prividni sjaj
h Persei	869	2250	25	4,1
Persei	884	2400	20	4,3
M 34	1039	440	30	5,6
M 45 Plejade	-	127	120	1,3
Hijade	-	42	400	0,6
M 38	1912	1200	18	7,0
M 36	1960	1260	16	6,3
M 37	2099	1200	24	6,1

M 44 Presepe	2632	159	90	3,7
M 67	2682	830	18	6,5
M 11	6705	1710	12	6,3
M 39	7092	255	30	5,1

14.12. SJAJNIJI KUGLASTI ZVJEZDANI SKUPOVI

Naziv (M oznaka)	Oznaka NGC ili IC	Udaljenost (kpc)	Ugaoni prečnik	Ukupni prividni sjaj
M 68	4590	11,8	2,2	8,3
M 53	5024	21	2,9	7,8
M 3	5272	13	3,4	6,4
M 5	5904	8,5	4,5	5,9
M 4	6121	2,8	9,8	6,0
M 13	6205	7,7	4,8	5,9
M 12	6218	5	6,9	6,7
M 62	6266	8	3,3	6,7
M 19	6273	7	3,5	6,9
M 92	6341	10	3,3	6,5
M 22	6656	3	10	5,1
M 55	6809	6	8,2	6,3
M 15	7078	14	2,8	6,4

14.13. SJAJNIJE PLANETARNE MAGLINE

Oznaka u NGC ili IC katalogu	Oznaka u M katalogu	Udaljenost (pc)	Ugaoni prečnik (“)	Naziv
650-1	76	950	90	
1535		720	11	
I 2149		960	12	
2392		540	10	
2440		900	12	
3132		420	30	
3242		630	26	
3587	97	730	180	Sova
4361		890	44	
6210		840	12	
6543		610	20	
6572		770	10	

6720	57	420	72	Prstenasta maglina u Liri
6818		800	20	
6826		530	25	
6853	27	150	420	Dambel maglina
7009		480	20	Saturn maglina
7027		860	10	
7293		86	360	Heliks
7662		630	20	

4.14. SVIJETLE DIFUZNE MAGLINE

Oznaka u NGC ili IC katalogu	Oznaka u M katalogu	Udaljenost (pc)	Ugaoni prečnik (")	Naziv
1499		773	150	Kalifornija
1976	42	501	60	Velika maglina u Orionu
1982	43	501	20	
I 443		363	70	Konjska glava
6514	20	2512	20	Trifid
6523	8	1318	60	Laguna
6611	16	1995	80	
6618	17	2512	40	Omega
I 50 678			75	Pelikan
7000		842	130	Sjeverna amerika

4.15. SVIJETLE DIFUZNE (REFLEKSIVNE MAGLINE)

Oznaka u NGC ili IC katalogu	Oznaka u Barnardovom katalogu (B)	Ugaoni prečnik (")	Naziv
-	B 22	50	Meropa
I 431	B 51	10	-
2023	B 52	9	-
2068	B 59	12	M 78
-	B 94	10	-
7023	B 139	20	-

14.16. SAZVIJEŽDA

Latinski naziv	Lat. skraćena	Bosanski naziv
Andromeda	And	Andromeda
Antlia	Ant	Pumpa
Apus	Aps	Rajska ptica
Aquila	Aql	Orao
Aquarius	Aqr	Vodolija
Ara	Ara	Oltar
Aries	Ari	Ovan
Auriga	Aur	Kočijaš
Bootes	Boo	Volar
Caelum	Cae	Dlijeto
Camelopardalis	Cam	Žirafa
Capricornus	Cap	Jarac
Carina	Car	Kobilica (broda Argo)
Casiopeia	Cas	Kasiopeja
Centaurus	Cen	Kentaur
Cepheus	Cep	Cefej
Cetus	Cet	Kit
Circinus	Cir	Krug
Canis Maior	CMA	Veliki pas
Canis Minor	CMi	Mali pas
Cancer	Cnc	Rak
Columba	Col	Golubica
Coma Berenices	Com	Berenikina kosa
Corona Austrina	CrA	Južna kruna
Corona Borealis	CrB	Sjeverna kruna
Crater	Crt	Pehar, Vrč
Crux	Cru	Južni križ
Corvus	Crv	Gavran
Canes Venatici	CVn	Lovački psi
Cygnus	Cyg	Labud
Delphinus	Del	Delfin
Dorado	Dor	Zlatna riba
Draco	Dra	Zmaj
Equuleus	Equ	Ždrijebe
Eridanus	Eri	Eridan (Rijeka Eridan)
Fornax	For	Peć (Hemijska peć)
Gemini	Gem	Blizanci
Grus	Gru	Ždrall

Hercules	Her	Herkul
Horologium	Hor	Sat (Ura)
Hydra	Hyd	Hidra (Vodena zmija)
Chameleon	Cha	Kameleon
Indus	Ind	Indijac (Hndus)
Lacerta	Lac	Gušterica
Leo	Leo	Lav
Leo Minor	LMi	Mali lav (Lavić)
Lepus	Lep	Zec
Libra	Lib	Vaga
Lupus	Lup	Vuk
Lynx	Lyn	Ris
Lyra	Lyr	Lira
Mensa	Men	Ravna planina
Microscopium	Mic	Mikroskop
Monoceros	Mon	Jednorog
Musca	Mus	Muha
Norma	Nor	Kutomjer
Octans	Oct	Oktant
Ophiuchus	Oph	Nosač zmije (Ofiuh, Zmijonosac)
Orion	Ori	Orion
Pavo	Pav	Paun
Pegasus	Peg	Pegaz
Perseus	Per	Perzej
Phoenix	Phe	Feniks
Pictor	Pic	Slikar
Pisces	Pis	Ribe
Piscis Austrinus	PsA	Južna riba
Puppis	Pup	Kрма
Pyxis	Pyx	Kompas
Reticulum	Ret	Mrežica
Scorpius	Sco	Škorpion
Sculptor	Scl	Kipar (Vajar)
Scutum	Sct	Štit
Serpens	Ser	Zmija
Sextans	Sex	Sekstant
Sagitta	Sge	Strijelica
Sagittarius	Sgr	Strijelac
Taurus	Tau	Bik
Telescopium	Tel	Teleskop
Tiangulum	Tri	Trokut (Troughao)
Triangulum Australe	TrA	Južni trokut

Tucana	Tuc	Tukan
Ursa Maior	UMa	Veliki Medvjed
Ursa NMinor	UMi	Mali Medvjed
Vela	Vel	Jedra
Virgo	Vir	Djevica
Volans	Vol	Leteća riba
Vulpecula	Vul	Lisičica

14.17. LOKALNI (MJESNI) SISTEM GALAKSIJA

Red. broj	Naziv ili oznaka	Tip	Prividni sjaj	Rastojanje (kpc)
1	Mliječni Put	Sb ili Sc		
2	Veliki Magelanov oblak	I I	1,2	46
3	Mali Magelanov oblak	I I	2,8	46
4	Sistem u Sculptoru	I II	8,8	90
5	Sistem u Fornaksu	I II	9,1	290
6	NGC 6822	II	9,1	330
7	NGC 147	E3	10,5	400
8	NGC 185	E1	10,2	400
9	NGC 224 (V.maglina u And)	Sb	4,3	460
10	NGC 205	E5	8,9	460
11	NGC 221	E2	9,1	460
12	IC 1613	I I	10,0	460
13	NGC 598 (maglina u Trokutu)	Sc	6,0	480
14	Sistem Leo I	I II	12,0	220
15	Sistem Leo II	I II	12,0	220
16	Sistem Draco	I II	10,0	100
17	Sistem Ursa Minor	I II	10,0	67
18	Sistem Pegasus	E	12,5	178
19	Sistem Orion	E	-	80
20	Sistem Sextans	E	-	140
21	Sistem Capricornus	E	13,0	80
22	Sistem Ursa Minor	E	14,4	120
23	And I	E	-	(700)
24	And II	E	-	(700)
25	And III	E	-	(700)
26	And IV	I I	-	(700)
27	Maffei I		-	1000

13.18. VELIKI TELESKOPI SVIJETA

Naziv opservatorije ili teleskopa	Lokacija	Prečnik teleskopa (m)	Godina stupanja u pogon
VLT, ESO,	La Silla, Čile	16	1998
Keck teleskop (I)	Mauna Kea, Havaji	9,82	1991
Keck teleskop (II)	Mauna Kea, Havaji	9,82	1996
Large Binocular Telescope	Mount Graham, Arizona,	11,8	1997
Spectroscopic Survey Tel.	Mc Donald, Mt. Locke, Texas	11	1996
Subaru Teleskop JAPAN	Mauna Kea, Havaji	8,3	2000
Gemini Teleskop (sjeverni)	Mauna Kea, Havaji	8,1	1999
Gemini Teleskop (južni)	Mauna Kea, Havaji	8,1	2001
MMT	Mt.Hopkins, Arizona	6,5	1995
Magellan Project	Las Campanas Obs. Čile	6,5	1998
Spec. astrofizička opservatorija BTA	Kavkaz, Rusija	6	1976
Palomar Observatory Hale telescope	Mt. Palomar USA	5	1950
Whipple Observatory Multiple Mirror Telescope	Mt. Hopkins USA	4,6	1979
Roque de los Muchachos Herschel Telescope	Kanarski otoci Vel.Britanija	4,2	1986
Cerro Tololo, Inter American Observatory	Cerro Tololo Čile	4	1975
Anglo-Australian Telescope	Siding Spring Australia	3,9	1975
Kitt Peak National Observatory Mayall reflector	Kitt Peak USA	3,8	1974
United Kingdom Infrared Telescope UKIRT	Mauna Kea Havaji	3,8	1974
European Southern Observatory	La Silla, ESO Čile	3,8	1976
Canada-France-Havaji Telescope	Mauna Kea Havaji	3,6	1979
NTT, European Southern Observatory	La Silla Čile	3,6	1990
German-Spanish Astronomical Center	Calar Alto Španija	3,5	1983

New Technology Telescope ESO	La Silla, Čile	3,5	1989
Telescopio Nazionale Galileo Italia	La Palma, Kanari	3,5	1996
WIYN Telescope USA	Kitt Peak, Arizona	3,5	1994
NASA Infrared Telescope Facility IRTF	Mauna Kea Havaji	3,0	1979
Lick Observatory Shane Telescope	Mt. Hamilton USA	3,0	1959
Mc Donald Observatory	Mt. Locke, USA	2,7	1968
Krimska astrofizička opservatorija	Krim Ukrajina	2,6	1961
Bjurakanska opservatorija	Bjurakan, Armenija	2,6	1976
Las Campanas Observatory Irenee du Pont Telescope, USA	Cerro de las Campanas Čile	2,5	1977
UBC-Laval Telescope Kanada	Vancouver Kanada	2,7 tekuće paraboloidno ogledalo	1992
Isaac Newton Telescope Roque de los Muchachos	La Palma, Kanarska ostrva, Španija	2,5	1982
Mt Wilson, Hooker Telescope	Mt. Wilson USA	2,5	1917
Nordic Optical Telescope, Nordijske zemlje	La Palma, Kanari Španija	2,5	1989
Svemirski teleskop (Hubble Space Telescope), USA	Orbita oko Zemlje	2,4	1990

BIBLIOGRAFIJA

1. **Agekjan, R.A.:** 1970, ZVIJZDI, GALAKTIKI, METAGALAKTIKA, Moskva: Nauka.
2. **Batten, H.A.:** 1973, BINARY AND MULTIPLE SYSTEMS OF STARS, Oxford: Pergamon Press.
3. **Barlow, B.V.:** 1975, THE ASTRONOMICAL TELESCOPE, London: Wykeham Publications Ltd.
4. **Berg/Frederick.:** 1978, DESCRIPTIVE ASTRONOMY, New York: D.Van Nostrand Company.
5. **Briggs, G.A, Taylor, F.W.:** 1982, THE CAMBRIDGE PHOTOGRAPHIC ATLAS OF THE PLANETS, Cambridge: Cambridge University Press.
6. **Burgin, M.S.:** 1983, ULTRAFIOLETOVAJA ASTRONOMIJA, Moskva: Izdateljstvo Znanie.
7. **Couper, H., Henbest, N.:** 1988, THE STARS - FROM SUPERSTITION TO SUPERNOVA. London-Sydney-Auckland: Pan Books.
8. **Dagajev, M.M., Demin, V.G., Klimisin, I.A., Carugin, V.M.:** 1983, ASTRONOMIJA, Moskva: Prosvescenije.
9. **Dewitt-Morete, C.(ed):** 1974, IAU SYMPOSIUM 64 - GRAVITATIONAL RADIATION AND GRAVITATIONAL COLLAPSE, Dodrecht: Reidel Publishing Company.
10. **Dubinskij, B.A., Sljis, V.I.:** 1973, RADIOASTRONOMIJA, Moskva: Sovetskoe Radio.

11. **Dufay, J.:** 1964, INTRODUCTION TO ASTROPHYSICS: THE STARS, New York: Dover Publications Inc.
12. **Field, G.B., Arp, H., Bahcall, J.N.:** 1973, REDSHIFT CONTROVERSY, W.A. Benjamin Inc.
13. **Fraknoi, A., Harrington, S.:** 1988, MARS KIT, San Francisco: The Astronomical Society of the Pacific.
14. **Fraknoi, A., Harrington, S.:** 1988, VENUS KIT, San Francisco: The Astronomical Society of the Pacific.
15. **Gašparević, R., Muminović, M.:** 1982, ASTRONOMIJA ZA 7 RAZRED OSNOVNE ŠKOLE, Sarajevo: Svjetlost.
16. **Glasby, J.S.:** 1971, VARIABLE STARS OBSERVERS HANDBOOK, London: Sigwick and Jackson.
17. **Grupa autora.:** 1990, NASA ZVIJEZDA SUNCE, Zagreb: Zvezdarnica HPD.
18. **Grupa autora.:** 1987, ENCYKLOPEDIA ASTRONOMIE, Bratislava: Vydateľstvo Obzor.
19. **Haritonov, A.B.:** 1984, ENERGETIKA SOLNCA I ZVJEZD, Moskva: Izdateljstvo Znanie.
20. **Henbest, N.:** 1983, THE NEW ASTRONOMY, Cambridge: Cambridge University Press.
21. **Henden, A.A., Kaitchuck, R.H.:** 1982, ASTRONOMICAL PHOTOMETRY, New York: Van Nostrand Reinhold Comp.
22. **Hermann, J.:** 1977, ASTRONOMIJA, Zagreb: Mladost.
23. **Hoyle, F.:** 1962, ASTRONOMY, London: Rathbone books Ltd.
24. **Howard, N.E.:** 1970, HANDBOOK FOR TELESCOPE MAKING, London: Faber and Faber Ltd.
25. **Jones, C., Forman, W., Stern, C.:** 1988, THE SKY AT MANY WAVELENGTHS, San Francisco: The astronomical Society of the Pacific.
26. **Kaufmann, W.J.III.:** 1973, THE RELATIVITY AND COSMOLOGY, New York: Harper and Row Publishers.
27. **Kelly, J.B., O'Leary, B., Chaikin, A.:** 1981, THE NEW SOLAR SYSTEM, Cambridge Mass.: Sky Publishing Corporation and Cambridge University Press.
28. **Kleczek, J.:** 1973, SLUNCE A CLOVEK, Praha: Nove obzory vedy.
29. **Klepsta, J., Rukl, A.:** 1969, A CONCISE GUIDE IN COLOR - CONSTELLATIONS, London-N.Y-Sydney-Toronto: Paul Hamlyn.

30. **Kujundžić, E.:** 1991, ISLAMSKI KALENDAR I ASTRONOMIJA, Sarajevo: El Kalem.
31. **Menzel, H.D.:** 1959, OUR SUN, Cambridge Mass.: Harvard University Press.
32. **Meyers, R.A.:** 1989, ENCYCLOPEDIA OF ASTRONOMY AND ASTROPHYSICS, Academic Press Inc.
33. **Miczaika, R.G., Sinton, M.W.:** 1961, TOOLS OF THE ASTRONOMER, Cambridge Mass.: Harvard University Press.
34. **Mitton, S.:** 1984, DAYTIME STAR - THE STORY OF OUR SUN, London/Boston: Faber and Faber Ltd.
35. **Muminović, M.:** 1982, PRAKTIČNA ASTRONOMIJA II izd. Sarajevo: Univerzitetsko astronomsko društvo.
36. **Muminović, M.:** 1990, PRAKTIČNA ASTRONOMIJA III izd. Sarajevo: Univerzitetsko astronomsko društvo Sarajevo.
37. **Muminović, M.:** 1985, ASTRONOMIJA IV izd. Sarajevo: CEDUS - Astronomska opservatorija UAD.
38. **Muminović, M.:** 1985, KOMETE - HALLEYEVA KOMETA 85/86, Sarajevo: Savez astronomskih društava BiH, Astronomska opservatorija.
39. **MERCURY** - Journal of the Astronomical society of the Pacific, 1985 - 1995.
40. **NASA.:** 1991, THE GREAT OBSERVATORIES FOR SPACE ASTROPHYSICS
41. **NASA.:** 1991, SIRTf - SPACE INFRARED TELESCOPE FACILITY.
42. **NASA.:** 1991, THE GAMA - RAY OBSERVATORY.
43. **Pasachoff, J.M., Kutner, M.L.:** 1978, UNIVERSITY ASTRONOMY, Philadelphia: W.B.Saunders Company.
44. **Pasachoff, J.M.:** 1991, ASTRONOMY From Earth to the Universe, Philadelphia, Saunders College Publishing
45. **Popov, P.I., Voroncov - Veljaminov, B.A., Kunickij, R.V.:** 1967, ASTRONOMIJA, Moskva: Nauka,
46. **Pskovski, Ju.P.:** 1972, SOSEDI NASEJ GALAKTIKI, Moskva: Znanie.
47. **Ruedaux, L., Vaucouleur, G.:** LAROUSSE ENCICLOPEDIA OF ASTRONOMY, London.
48. **Schiama, D.W.:** 1973, MODERN COSMOLOGY, Cambridge: Cambridge University Press.

48. **Sears, F.W., Zemansky, M.W.:** 1966, COLLEGE PHYSICS, Reading - Palo Alto - London: Adison - Wesley Publishing Company Inc.
49. **Seeds, M.A.:** HORIZONS Exploring the universe, 1991, Belmont: Wadsworth Publishing Company.
50. **Shake, J.D., Shaft, D.(ed):** 1974, IAU SYMPOSIUM 58 - THE FORMATION AND DYNAMICS OF GALAXIES, Dodrecht: ledel Publishing Company.
51. **Shapley, H.:** 1972, GALAXIES, Cambridge Mass.: Harvard University Press (third ed. revised by Hodge, P.W.).
52. **Sitinskaja, N.N.:** 1959 PRIRODA LUNI, Moskva: Gosudarstveno izdateljstvo fiz-mat literaturi.
53. **Sky and Telescope Library of astronomy.:** 1967, THE ORIGIN OF THE SOLAR SYSTEM, New York: Macmillan Company.
54. **Stepanjan, A.A.:** 1983, GAMA-ASTRONOMIJA SVERHVISOKIH ENERGIJ I KOSMICESKE LUCI, Moskva: Izdateljstvo Znanie.
55. **Strohmeir, W.:** 1972, VARIABLE STARS, Oxford: Pergamon Press.
56. **Struve, O., Lindz, B., Pilans, E.:** 1967, ELEMENTARNAJA ASTRONOMIJA, Moskva: Nauka.
57. **Sky and Telescope.:** 1970 - 1997. Cambridge Mass
58. **Sklovski, I.S.:** 1960, SVERHNOVI ZVJEZDI, Moskva: Nauka.
59. **The ESO Messenger.:** *June 1988, December 1986, March 1983.* European Southern Observatory.
60. **Verschuur, G.L.:** 1974, THE INVISIBLE UNIVERSE, London: The English Universities Press Ltd.
61. **Voroncov - Veljaminov, B.A.:** 1969, OCJERKI O VSILJENIJ, Moskva: Nauka.
62. **Weigert, A., Zimmerman, H.:** 1976, CONCISE ENCYCLOPEDIA OF ASTRONOMY, London: Adam Hilger.
63. **William, K.H.:** 1983, MOONS AND PLANETS, Belmont: Wadsworth Publishing Company..