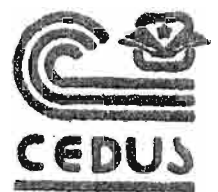


M. MUMINOVIĆ

# ASTRONOMIJA



**Muhamed Muminović**  
**ASTRONOMIJA**

**Sarajevo, 1985.**

Centar za društvene djelatnosti Univerziteta u Sarajevu  
**A S T R O N O M S K A   O P S E R V A T O R I J A**  
Sarajevo, M.Tita 44

M.Muminović  
**A S T R O N O M I J A**

I izdanje, Sarajevo, 1972.  
II prerađeno i dopunjeno izdanje,  
Sarajevo, 1976  
III izdanje, Sarajevo, 1977.  
IV prerađeno i dopunjeno izdanje,  
Sarajevo, 1985

Recenzenti:  
Tomić Aleksandar, astrofizičar  
Mulaomerović ing. Jasminko

UREDNIK  
MILORAD STUPAR

TEHNIČKI UREDNIK  
BRANKO VUKSANOVIĆ

Likovna i grafička oprema korica: Savo Vasiljević

---

Ostali saradnici: Lektor: Biljana Dubovina. Korektor: Slobodan Mandić.  
Fotografije Astronomske opservatorije u Sarajevu: Pikulić M. Crteži:  
Aleksandar Trebić. Ostali tehnički saradnici: Fašman Neven i Krajnc Davorin.  
Treće izdaje ove knjige štampano je uz pomoć SIZ-a Nauke BiH.



## S A D R Ž A J

Predgovor . . . . .	vii
1. SUNČEV SISTEM . . . . .	1
1.1 MERKUR . . . . .	1
1.2 VENERA . . . . .	4
1.3 MARS . . . . .	9
1.4 ASTEROIDI . . . . .	16
1.5 METEORI . . . . .	19
1.6 ZODIJAČKA SVJETLOST . . . . .	22
1.7 KOMETE . . . . .	22
1.8 JUPITER . . . . .	30
1.9 SATURN . . . . .	34
1.10 URAN . . . . .	39
1.11 NEPTUN . . . . .	40
1.12 PLUTON . . . . .	41
1.13 MJESEC . . . . .	42
1.13.1 Površina Mjeseca i njene karakteristike . . . . .	45
1.14 SUNCE . . . . .	49
1.14.1 Osnovni podaci o Suncu . . . . .	49
1.14.2 Izgled Sunca . . . . .	50
1.14.3 Ostale pojave na Suncu . . . . .	53
1.14.4 Hromosfera i korona . . . . .	55
1.14.5 Novija istraživanja Sunca . . . . .	56
1.14.6 Radio zračenje Sunca i uticaj pojava na Suncu . . . . .	57
1.15 POMRAČENJA . . . . .	57
1.15.1 Sunčeva pomračenja . . . . .	58
1.15.2 Mjesečeva pomračenja . . . . .	63
1.16 POSTANAK SUNČEVOG SISTEMA . . . . .	63
2. ZVJEZDANA ASTRONOMIJA . . . . .	75
2.1 RASTOJANJA ZVIJEZDA I NJIHOVA KRETANJA U PROSTORU . . . . .	75
2.2 SJAJ ZVIJEZDA . . . . .	77
2.3 TEMPERATURE ZVIJEZDA . . . . .	80
2.3.1 Stefan-Bolcmanov zakon . . . . .	80

2.3.2	Vinov zakon pomjeranja . . . . .	81
2.4	MASE ZVIJEZDA . . . . .	82
2.5	RADIUSI ZVIJEZDA. . . . .	84
2.6	ZVJEZDANI SPEKTRI . . . . .	86
2.7	HERTZSPRUNG - RUSSELOV DIJAGRAM. . . . .	88
2.8	PRITISAK I TEMPERATURA U SREDIŠTU ZVIJEZDA . . . . .	91
2.9	IZVORI ZVJEZDANE ENERGIJE. . . . .	94
2.10	DVOJNE ZVIJEZDE . . . . .	94
2.11	SPEKTRALNE DVOJNE ZVIJEZDE . . . . .	99
2.12	PLANETNI SISTEMI DRUGIH ZVIJEZDA. . . . .	99
2.13	PROMJENLJIVE ZVIJEZDE . . . . .	101
2.13.1	Pulsirajuće promjenljive zvijezde. . . . .	101
2.13.1.1	Cefeide. . . . .	101
2.13.2	Zavisnost period-apsolutni sjaj. . . . .	102
2.13.3	Dugoperiodične promjenljive. . . . .	105
2.13.4	Polupravilne promjenljive zvijezde . . . . .	106
2.13.5	Nepravilne promjenljive. . . . .	107
2.13.6	Nebularne promjenljive . . . . .	108
2.13.7	Promjenljive tipe R Coronae Borealis . . . . .	109
2.13.8	Patuljaste nove zvijezde . . . . .	110
2.13.9	Eruptivne promjenljive tipa UV Ceti. . . . .	111
2.13.10	Volf-Rajetove zvijezde . . . . .	112
2.14	NOVE I SUPERNOVE ZVIJEZDE. . . . .	112
2.15	POMRAČUJUĆE PROMJENLJIVE ZVIJEZDE. . . . .	119
2.16	ROTACIJA ZVIJEZDA . . . . .	124
2.17	RADANJE I EVOLUCIJA ZVIJEZDA. . . . .	125
3.	GALAKTIČKA ASTRONOMIJA . . . . .	129
3.1	ZVJEZDANI SKUPOVI. . . . .	130
3.2	DIFUZNE MAGLINE. . . . .	135
3.3	PLANETARNE MAGLINE . . . . .	139
3.4	MEDUZVJEZDANA SREDINA. . . . .	141
3.5	KRAB MAGLINA . . . . .	141
3.6	STRUKTURA MLIJEČNOG PUTA . . . . .	143
4.	VANGALAKTIČKA ASTRONOMIJA . . . . .	145
4.1	UVOD . . . . .	145
4.2	TIPOVI GALAKSIJA . . . . .	146
4.2.1	Spiralne galaksije . . . . .	148
4.2.2	Eliptične galaksije. . . . .	150
4.2.3	Nepravilne galaksije . . . . .	152
4.3	OSNOVNE FIZIČKE KARAKTERISTIKE GALAKSIJA . . . . .	153
4.3.1	Rotacija galaksija . . . . .	154

4.3.2	Mase galaksija . . . . .	155
4.4	MJESNI SISTEM. . . . .	156
4.4.1	Magelanovi oblaci. . . . .	157
4.4.2	Velika maglina u Andromedi . . . . .	159
4.4.3	Maglina u Trouglu. . . . .	160
4.4.4	Patuljaste bliske galaksije. . . . .	160
4.5	SPECIJALNE VRSTE GALAKSIJA . . . . .	162
4.5.1	Sejfertove galaksije . . . . .	166
4.6	SKUPOVI GALAKSIJA. . . . .	167
4.7	HABLOV ZAKON ŠIRENJA SVEMIRA . . . . .	170
4.7.1	Mjerenje Hablove konstante . . . . .	172
4.8	PROBLEMI KOSMOLOGIJE . . . . .	173
4.8.1	Zatvoreni model. . . . .	175
4.8.2	Otvoreni model . . . . .	177
4.8.3	Prelazni model . . . . .	178
5.	NOVE OBLASTI ASTRONOMIJE . . . . .	185
5.1	RADIO ASTRONOMIJA. . . . .	185
5.1.1	Galaktički radio izvori. . . . .	190
5.1.2	Vangalaktički radio izvori . . . . .	192
5.1.3	Kvazari. . . . .	195
5.1.4	Pulsari. . . . .	200
5.2	INFRACRVENA ASTRONOMIJA. . . . .	202
5.3	ULTRALJUBIČASTA ASTRONOMIJA. . . . .	205
5.4	RENTGENSKA ASTRONOMIJA . . . . .	208
5.5	ASTRONOMIJA GAMA ZRAKA . . . . .	212
5.6	CRNE JAME. . . . .	213

## D O D A T A K A :

A.	ASTRONOMSKI INSTRUMENTI. . . . .	223
A.1	RAZVOJ TELESKOPA . . . . .	223
A.2	TELESKOPI REFRAKTORI . . . . .	226
A.3	TELESKOPI REFLEKTORI . . . . .	229
A.4	PARAMETRI TELESKOPA. . . . .	233
A.4.1	Svjetlosna moć teleskopa . . . . .	233
A.4.2	Razdvojna moć. . . . .	233
A.5	OKULARI. . . . .	233
A.5.1	Hajgensov okular . . . . .	233
A.5.2	Ramsdenov okular . . . . .	234
A.5.3	Okulari Toles i Kelner . . . . .	234
A.5.4	Ortoskopski okular i Monocentrik . . . . .	235
A.6	ASTROGRAFI . . . . .	235

A.7	REFLEKTORSKO-REFRAKTORSKI SISTEMI. . . . .	239
A.8	MONTAŽE TELESKOPA. . . . .	240
A.8.1	Azimutna montaža . . . . .	240
A.8.2	Ekvatorska montaža . . . . .	240
A.9	SPEKTRALNA ANALIZA U ASTRONOMIJI . . . . .	244
A.9.1	Spektroskopi i spektrografi. . . . .	244
A.10	FOTOMETRI. . . . .	245
A.11	FILTERI. . . . .	248
A.12	INSTRUMENTI ZA IZUČAVANJE SUNCA. . . . .	249
A.13	ELEKTRONSKI SISTEMI ZA DOBIJANJE SLIKA . . . . .	250
A.14	ASTRONOMSKE OPSERVATORIJE. . . . .	251
A.15	TELESKOPI BUDUĆNOSTI . . . . .	252
A.16	ASTRONOMIJA U JUGOSLAVIJI. . . . .	258

D O D A T A K B :

B.	SFERNA ASTRONOMIJA . . . . .	261
B.1	NEBESKI KOORDINATNI SISTEMI. . . . .	265
B.1.1	Koordinarni sistem horizonta . . . . .	265
B.1.2	Koordinatni sistem ekvatora. . . . .	266
B.1.3	Ekliptički koordinatni sistem. . . . .	268
B.1.4	Galaktički koordinatni sistem. . . . .	269
B.2	GEOGRAFSKA ŠIRINA I DUŽINA . . . . .	270
B.3	VEZA GEOGRAFSKIH I NEBESKIH KOORDINATA . . . . .	271
B.4	PRIVIDNO GODIŠNJE KRETANJE SUNCA U ODNOSU NA ZVIJEZDE. . . . .	272
B.5	ASTRONOMSKO MJERENJE VREMENA . . . . .	274
B.5.1	Zvezdano vrijeme. . . . .	274
B.5.2	Pravo i srednje sunčevo vrijeme. . . . .	275
B.5.3	Mjesno i zonsko vrijeme. . . . .	277
B.5.4	Svjetsko i efemeridno vrijeme. . . . .	278
B.5.5	Atomsko vrijeme. . . . .	279
B.6	KALENDAR . . . . .	279
B.7	ASTRONOMSKA REFRAKCIJA . . . . .	280
B.8	ASTRONOMSKA ABERACIJA. . . . .	281
B.9	PRECESIJA ZEMLJE . . . . .	283
B.10	GEOCENTRIČNI I HELIOCENTRIČNI SISTEM SVIJETA . . . . .	285
B.11	KEPLEROVI ZAKONI . . . . .	287
B.12	NJUTNOV ZAKON GRAVITACIJE. . . . .	290
B.13	ELEMENTI ORBITA PLANETA SUNČEVOG SISTEMA . . . . .	292

L i t e r a t u r a . . . . .	294
-------------------------------	-----

I N D E K S . . . . .	296
-----------------------	-----

## P r e d g o v o r

Nema sumnje da savremena astronomija spada u one domene ljudskog djelovanja gdje se saznanja mijenjaju nepojmljivo brzo. Za samo pet godina, od kako je izašlo treće izdanje ove knjige, stvari su se toliko izmijenile da je bilo neophodno uzeti u obzir brojne nove činjenice i otkrića. Posebno je taj trend jak u oblasti istraživanja Sunčevog sistema, u astrofizici, a manje više i u svim ostalim disciplinama koje se pojavljuju u astronomiji.

Osnovna uloga astronomije je da nam pomogne u razumjevanju onog nepojmljivo velikog što nazivamo svemirom, vasionom, ili univerzumom. Da bi se to postiglo, astronomi moraju da vrše pažljiva i precizna posmatranja, upoređuju podatke i koriste nove tehnologije. Tokom istorije, posmatranja neba i otkrića koja su načinjena, imala su ogroman i često neprocjenjiv uticaj na čovječanstvo. Primitivno izučavanje raznih periodičnih pojava kao što su smjena dana i noći, kretanja Sunca i Mjeseca, vodili su stvaranju kalendara i računanju vremena. Kasnije se došlo i do brojnih fundamentalnih otkrića kao što su recimo zakon gravitacije, termonuklearni procesi u Suncu i zvjezdama.

Svemir, koji astronomi istražuju, možemo posmatrati kao specifičnu kosmičku laboratoriju za ispitivanje materije ili zračenja pod najrazličitijim uslovima, kakve je na Zemlji najčešće nemoguće imitirati.

Mnoga otkrića koja će se tek desiti, kao što je kontrolisana fuzija, novi izvori energije ili čak stvari koje ne možemo ni predvidjeti, sigurno će u mnogome ovisiti o astronomskim istraživanjima. Može se, ne bez razloga, tvrditi da je investiranje u astronomiju, investiranje u budućnost. Čovjek je samo sićušni dio svemira ali njegov neodvojivi djelić. Njegova sudbina je neraskidivo vezana sa sudbinom vasiona. Naša slika svijeta je duboko zavisna od našeg razumjevanja svemirskih zbivanja. Činjenice kao što su nastanak svemira u dinovsoj eksploziji, njegovo širenje i eventualni kraj, imaju veliko dejstvo na naše filozofske poglede.

Često se postavlja pitanje korisnosti ove nauke čija mnoga otkrića ponekad nemaju direktni uticaj na život čovjeka, ili se, u ovim našim vremenima ne mogu primjeniti. No, to ni najmanje ne pomračuje sjaj ove nauke. Mnogi je ne izučavaju radi direktne tehnološke koristi ili provjere pojedinih filozofskih pogleda, već radi izazova koje ona postavlja našem umu. Razmišljanje o svjetovima koji su milijardama svjetlosnih godina daleko od nas, i do kojih možda nikada nećemo doprijeti, spadaju u one fascinacije koje su čovjeka uzdigle iz skućenog svijeta jedne male planete, i poput svjetionika mu osvjetlile put do neshvatljivo širokih granica. Svemir je naša sudbina i astronomija je tu da nam pokaže put prema drugim zvijezdama i galaksijama. Kada se jednom, u dalekoj budućnosti, čovjek zaputi tajnovitim stazama međuzvjezdanih prostora, i osvoji nova sunca u vječnoj gladi za energijom, tada će imati razloga da se sa ponosom sjeti jedne plave planete koja će, možda, tada, predstavljati legendu.

Namjena ove knjige je da vas potpuno provede kroz pejzaže Sunčevog sistema, a zatim da vas preko svijeta zvijezda dovede do krajnjih granica beskraja. U dodatku knjige su dati osnovi sferne astronomije i opis astronomskih instrumenata, što olakšava razumjevanje pojmova koji se čitanjem knjige pojavljuju.

U odnosu na prethodna tri izdanja tekst je dosta izmjenjen, dopunjen novim podacima i fotografijama. Zadovoljstvo mi je da se zahvalim svima koji su mi pomogli u stvaranju ove knjige, a posebno svome saradniku Miloradu Stuparu. Takođe se želim zahvaliti firmi "SPE Electronic" iz Sarajeva koja je bez naknade ustupila svoj štampački sistem kojim je APPLE kompjuterom Astronomske opservatorije u Sarajevu i tekst editorom "WordStar" izvršeno procesiranje i pripremanje teksta za štampu.

A u t o r

U Sarajevu, februara 1985.g.

## 1. SUNČEV SISTEM

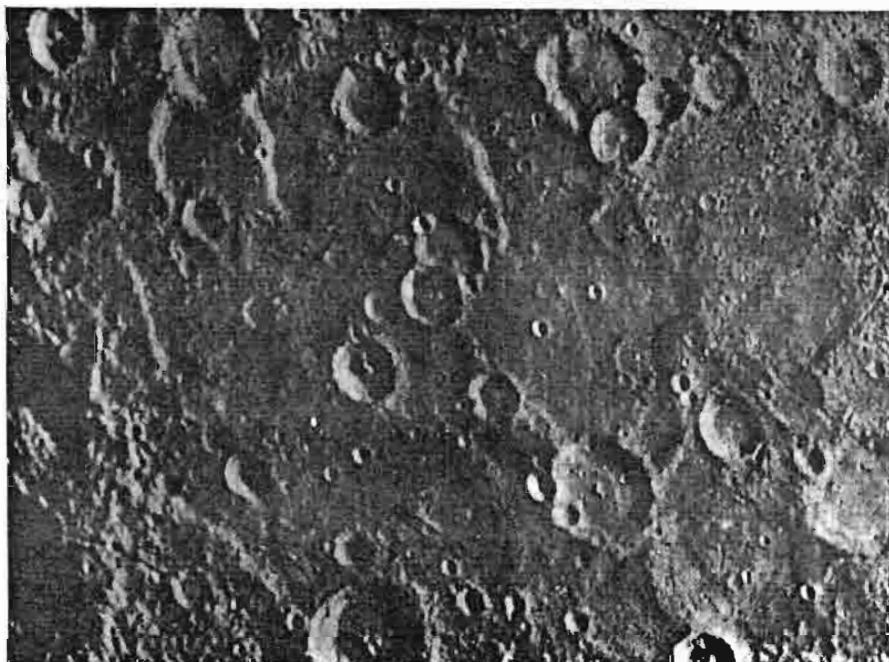
### 1.1 MERKUR

Istorija kaže da je Kopernik, pred svoju smrt, izjavio da mu je jedino žao što nikad nije uspio da vidi Merkur. U prostranim ravninama srednje Evrope horizont je uvijek maglovit i nije nimalo čudno, što otac heliocentričnog sistema nije mogao da vidi ovu planetu.

Zbog malog rastojanja od Sunca, Merkur se uvijek nalazi nisko nad horizontom. Maksimalna ugaona udaljenost ove planete od Sunca, tj. njena maksimalna elongacija, iznosi oko  $27^{\circ} 5'$ . Debeli sloj atmosfere, neposredno nad horizontom, upija svjetlosne zrake koje dolaze od Merkura. Zato su teleskopska posmatranja Merkura skopčana sa velikim poteškoćama i potrebno je mnogo strpljenja i upornosti da se postignu neki rezultati.

Srednja udaljenost ove planete od Sunca iznosi oko 58 miliona kilometara. Zbog veoma velikog ekscentriciteta orbite, koji se kreće oko 0.206, Merkur može imati u odnosu na Sunce, minimalno rastojanje od 46 miliona kilometara. Maksimalno rastojanje mu pak iznosi 70 miliona kilometara. Period njegove rotacije oko vlastite ose bio je dugi niz godina velika nepoznanica. Prvobitne pretpostavke, koje su se bazirale na posmatranju nekih detalja njegove površine, davale su podatke da period iznosi oko 24 sata. Čuveni istraživač planeta, italijan Skaiapareli, pokazao je da su te pretpostavke pogrešne. On je smatrao da je period rotacije Merkura jednak periodu njegovog obilaska oko Sunca. U tom slučaju, jedna njegova strana bila bi stalno izložena ogromnoj toploti. Na suprotnom dijelu carovala bi tama i hladnoća.

Prve indicije koje su ukazivale na greške ranijih razmatranja, pojavile su se sa pojavom radio astronomskih posmatranja. Jedno takvo ispitivanje je izvršeno 1962. godine. Pokazalo se da je radio-zračenje Merkura, tačnije njegove tamne strane, mnogo jače nego što bi se očekivalo. Drugim riječima, tamna strana ove planete nije tako hladna. Ta zagrijanost neosvjetljene strane Merkura mogla bi se objasniti time što on ima atmosferu koja prenosi toplinu sa osvjetljene strane. Međutim, nikakvi tragovi gasovitog omotača do sada nisu opaženi. Zbog male mase, brzina odvajanja na Merkur je mala, i atmosfera, ukoliko je nekada postojala, tokom vremena bi se neminovno rasula u okolni prostor.



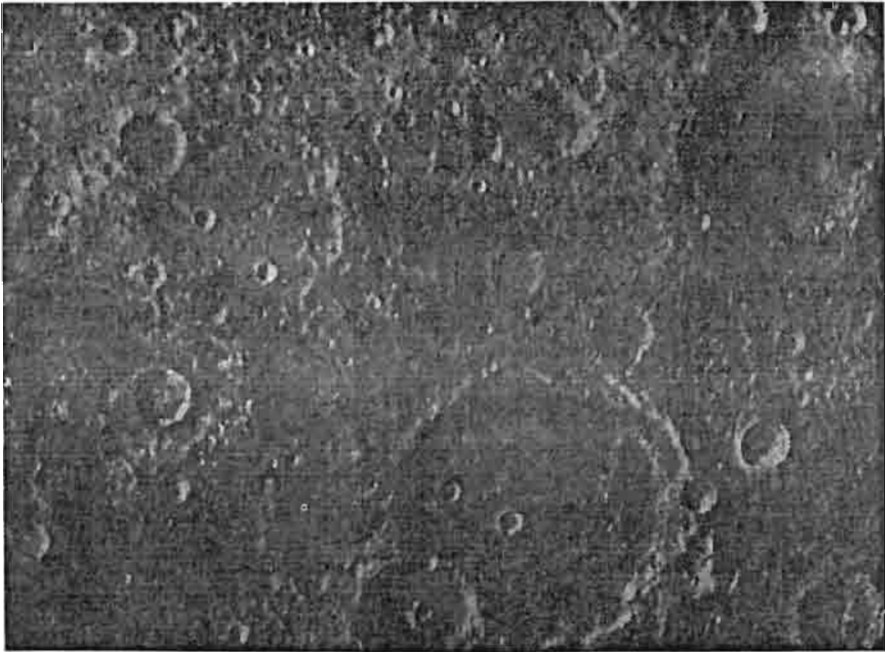
Sl.1.1. Detalji površine Merkura snimljeni sa američke stanice "Mariner 10".(Fotografija NASA).

U odsustvu iole primjetnih količina gasova, svjedoči veoma nizak albedo Merkura. Kao što je poznato, albedo predstavlja postotak reflektovane svjetlosti od ukupne količine koju neko tijelo primi. Albedo Merkura iznosi 6%. Kod planeta koje su okružene atmosferom, albedo se kreće i do 75%.

1964. godine, uz pomoć džinovskog radio-teleskopa opservatorije Aresibo u Puerto Riku, vršena su radarska posmatranja ove planete. Signal sa Zemlje se odbijao od površine Merkura i ponovo vraćao natrag. Na taj način moglo se doći do podataka o trajanju rotacije. Pokazalo se, prema tim mjerenjima, da se Merkur oko svoje ose okrene jedanput za 59 dana. Pri tome Sunce, za posmatrača na Merkur, na nebu, opisuje jednu zamršenu putanju. Taj prividni put Sunca na nebu ove planete, znatno se razlikuje od slike, kakvu smo mi na Zemlji navikli da gledamo.

Zbog već pomenutih razloga, o površini Merkura ranije se nije mnogo znalo. Astrofotografija ovdje slabo pomaže jer su za snimanja potrebne duže ekspozicije. Poremećaji u atmosferi obavezno pokvare snimak. Zato vizuelno posmatranje daje mnogo bolje rezultate. Na trenutke, u slučajevima dobre vidljivosti, ljudsko oko je u stanju da registruje detalje njegove površine. U ovim posmatranjima su se naročito istakli francuski astronomi Dolfus i Antoniadi.





Sl.1.2. Predio na južnoj polulopti Merkura snimljen letjelicom "Mariner 10". Vidljiv je veliki broj krupnijih kratera starijeg porijekla.

Manji krateri su očito mladi i nastali udarima meteor-ske materije.

Ono što klasični astronomski instrumenti nisu bili u stanju, učinile su automatske stanice. Američka stanica "Mariner 10" je u martu 1974. godine prošla pored ove planete, poslavši na Zemlju ogroman broj kvalitetnih snimaka. Njegov izgled je mnogo iznenadio. Odmah se može reći da je to drugi Mjesec, jer je sličnost, kraterima išarane površine ove planete, sa našim prirodnim satelitom ogromna. Opažen je ogroman broj kratera i drugih formacija reljefa koji su slični onim na Mjesecu.

Neke geološke formacije na Merkuru ukazuju da se on u pojedinim stvarima razlikuje od Mjeseca. Tako fotografije pokazuju, da je na nekim zonama područje između većih kratera prekriveno ogromnim brojem malih kratera, koji su očito nastali udarima nakon što je snažnom vulkanskom aktivnošću došlo do formiranja starijih zona. Otkrivene su i velike pukotine od kojih su neke duge i 500 km. Obzirom da presjecaju i pojedine kraterne one su očito mlade od njih. Planetolozi ove pukotine objašnjavaju "pucanjem" Merkurove kore prilikom regionalnih ili čak globalnih skupljanja ove planete. Unutrašnjost Merkura, zbog njegove velike gustine, morala bi biti znatno sličnija Zemljinoj, nego pak Mjesečevoj.

U određenim vremenskim periodima dešavaju se prolazi Merkura ispred Sunca. Tada posmatrači sa Zemlje mogu vidjeti kako Merkurov disk putuje više sati ispred površine Sunca.

Merkurovo kretanje oko Sunca odigralo je značajnu ulogu u nauci. Perihel ove planete se u toku stoljeća pomjera. To znači da se elipsa njegove orbite zakreće u prostoru. Klasična teorija gravitacije nije u stanju da objasni ovo pomjeranje. Nasuprot tome, kretanje Merkurovog perihela se može uklopiti u okvire relativističke teorije gravitacije. To je jedna od indicija koje ukazuju da je Ajnštajnova teorija veoma dobra u opisivanju slike fizičkog svijeta koji nas okružuje.

## 1.2 V E N E R A

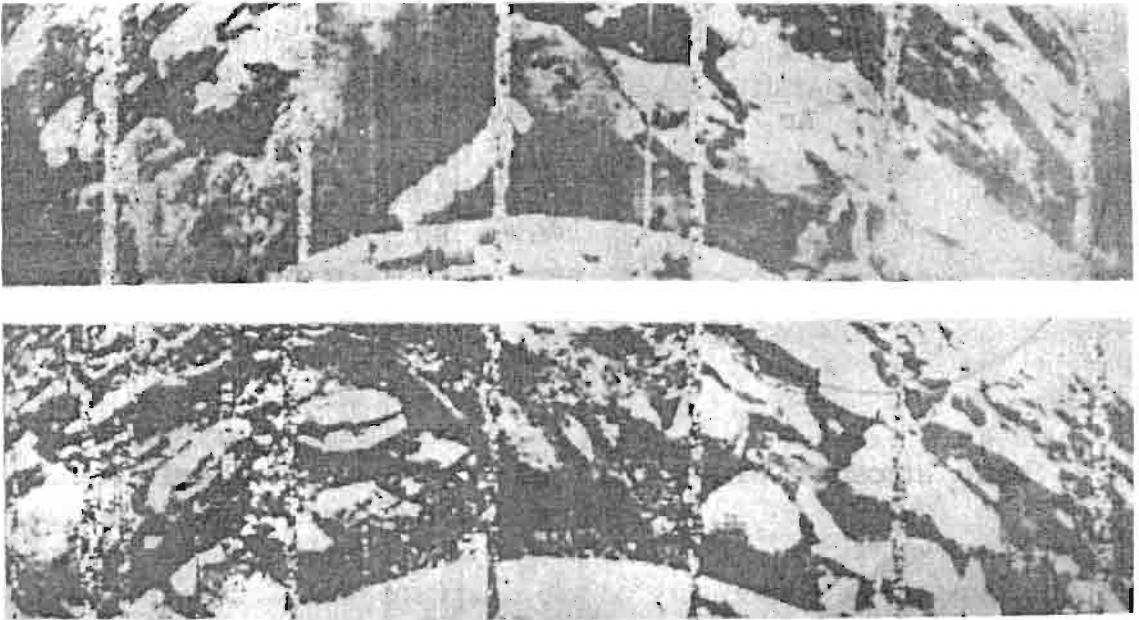
Veneru mnogi smatraju zagonetnom planetom, i to ne bez razloga. Gusta i neprozračna atmosfera skrivala je njenu površinu stoljećima. Taj njen vazdušni omotač, koji intenzivno reflektuje Sunčevu svjetlost, opazio je još 1761. godine Lomonosov. To je bilo prilikom jednog prolaza Venere ispred Sunca. Ovi prolazi Venere su, za razliku od Merkurovih, mnogo rjeđi. Tako se u ovom vijeku nije desio ni jedan prolaz, a prvi sljedeći će biti 8. juna 2004. i 6. juna 2012. godine. Albedo Venere je veoma veliki i iznosi oko 75%. Zbog toga je ona, poslije Sunca i Mjeseca, prividno najsjajniji objekat na nebu. Njen maksimalni prividni sjaj može da dosegne vrijednost od  $-4.3$  prividnih zvjezdanih veličina. Zato ju je moguće vidjeti i danju.

Kao i Merkur, vidljiva je prije izlaska i poslije zalaska Sunca. Najveća elongacija Venere kreće se oko  $47^{\circ}$ . Još davno je primijećeno 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. Inače, njena srednja udaljenost od Sunca iznosi 108.1 miliona km. Ima period obilaska oko 224.7 dana. Radius Venere je nekih 6000 km, a masa joj je 0.814 zemljine mase.

U teleskopu se Venera pokazuje kao blještavi blijedožućkasti disk. Na tom disku nije moguće zapaziti nikakve karakteristične detalje. Dugogodišnja ispitivanja su ukazala na postojanje svijetlih i tamnih mrlja koje su veoma nepostojane. Zato se pretpostavlja da su to neke vrste oblaka. Zbog ovoga vizuelna posmatranja nisu mogla da daju bilo kakve podatke o trajanju jedne rotacije ove planete.

Nedavno su sprovedena radarska mjerenja Venere. Prema mjerenjima izlazi da period obrtanja iznosi  $243.1 \pm 0.2$  zemaljska dana. Smjer njene rotacije je suprotan smjeru u kome rotira većina planeta Sunčevog sistema. Prva ispitivanja atmosfere Venere vršena su spektralnim putem. Tako je otkriveno da u blizini infracrvenog dijela spektra postoje tamne linije koje odgovaraju ugljen dioksidu. Kasnije su otkriveni ugljen monoksid, hlorovodonik, fluorovodonik. Spektralna analiza je davala uglavnom sastav, i to djelimični,

spoljnih zona Venerine atmosfere. Mjerenja temperature pomoću termoelemenata govorela su da bi se ona za vanjski sloj kretala oko  $-23^{\circ}\text{C}$ .

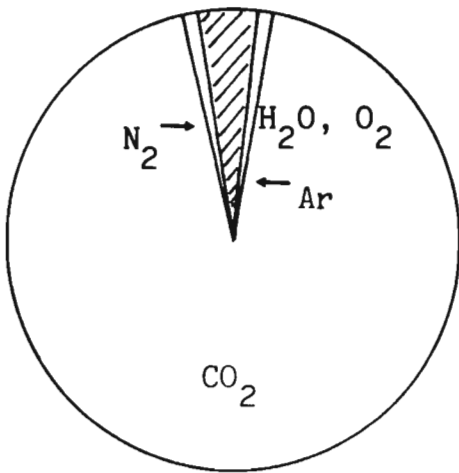


Sl.1.3. Površina Venere fotografisana sa sovjetske automatske stanice "Venera 9". (Fotografija TASS).

Svi gore navedeni podaci o Veneri su dobijeni klasičnim astronomskim metodama. Posljednjih godina su započela njena istraživanja pomoću automatskih međuplanetarnih stanica. 14. decembra 1962. godine američka stanica "Mariner 2" je prošla pored Venere na rastojanju od 35 hiljada kilometara. Tada je utvrđeno da je magnetno polje planete bar deset puta slabije od onoga oko Zemlje. Mjerenja temperature su pokazala da centralna zona dijela planetinog diska, koji je bio okrenut ka stanici, ima temperaturu od  $-34^{\circ}\text{C}$  (ovdje se radi o temperaturi vanjskih slojeva Venerine atmosfere). Rubovi su bili nešto hladniji i to  $-51^{\circ}\text{C}$  i  $-57^{\circ}\text{C}$ .

Nešto kasnije, sovjetska međuplanetarna stanica "Venera 4" spustila se direktno na površinu zagonetne planete. Pri tome je neprekidno slala podatke na Zemlju. Temperatura se tokom spuštanja mijenjala od  $25^{\circ}\text{C}$  do  $270^{\circ}\text{C}$  a pritisak od 1 do 18 atmosfera. Sastav atmosfere je takav da je ona uglavnom građena od ugljendioksida (90%), na kiseonik i vodenu paru otpada 1.5% a azota ima oko 7%.

Kasnije su lansirane stanice "Venera 5" i "Venera 6" koje su poslale još preciznije podatke. Na osnovu njih se moglo zaključiti da se temperatura na površini Venere kreće oko  $770^{\circ}\text{C}$  a pritisak oko 97 atmosfera. Naravno, mogu postojati greške u ovim mjerenjima, ali ona ipak daju predstavu o opštem stanju koje vlada na dnu vazdušnog okeana oko planete Venere.



Sl.1.4. Sastav atmosfere Venere

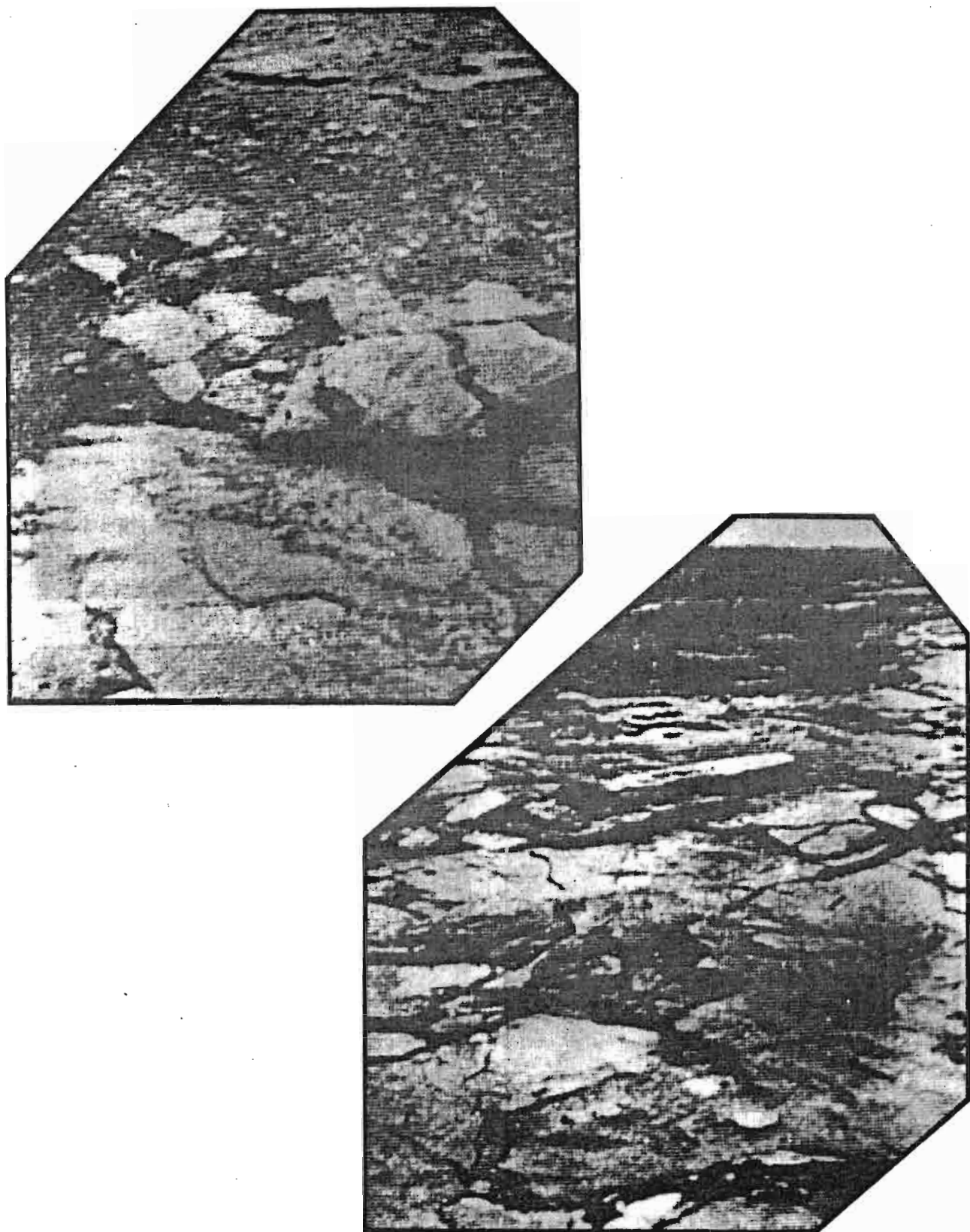
tome su zabilježene temperature od 485°C odnosno 465°C. U isto vrijeme, podaci koji su primljeni govorili su da je pritisak iznosio oko 90 atmosfera, a to je pritisak kakav vlada u okeanu na Zemlji, na dubini oko 1000 metara ispod površine.

Ranije pretpostavke o gustini atmosfere govorile su da ne bi bilo moguće dobiti nikakve slike njene površine, jer bi svjetlost, filtrirana kroz oblake, bila tako difuzna da ne bi postojale nikakve sjene. Takođe se očekivalo da je njena površina pretežno pjeskovita zbog uticaja erozije i to posebno eolske (erozije izazvane djelovanjem vjetera). No, slike su iznenadile sve. Osvjetljenost tla je tako dobra da se sjenke savršeno lako opažaju. Stanice su se spustile na dva, geološki gledano, različita dijela planete. U oba slučaja primjećuju se stijene raznih veličina. Tlo oko "Venere 9" bilo je prekriveno hrapavim stijenama veličine 30 do 40 cm. Ovo pokazuje da na Veneri, gotovo sigurno, još uvijek postoje vulkanski i drugi geološki procesi, jer bi u protivnom sve stijene vremenom bile usitnjene u prašinu i pijesak pod dejstvom erozije.

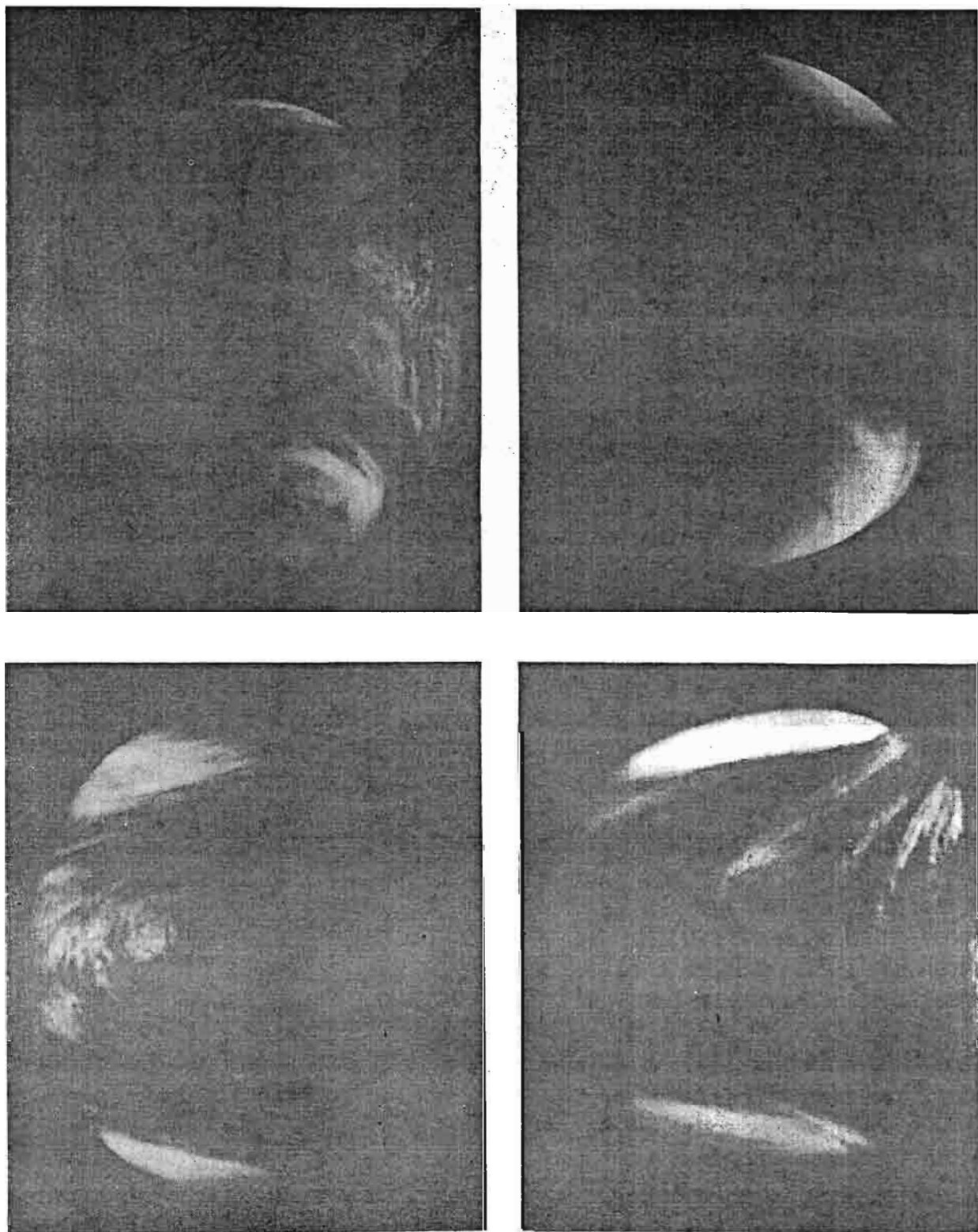
U istraživanjima tla Venere još više uspjeha imale su stanice "Venere 13" i "Venere 14", koje su se 1982. godine spustile na dva različita mjesta i gotovo tri časa slale podatke. Nakon toga, zbog visoke temperature, uređaji su prestali raditi. Fotografije i mjerenje hemijskog sastava prašine i stijena oko stanica pokazala su sličnost materijala sa vulkanskim kamenjem na Zemlji.

Američka stanica "Pioneer Venus Orbiter" bila je snabdjevena radarom i to je omogućilo da se dobiju grube mape oko 93% površine Venere tokom višegodišnjih osmatranja. Obzirom da na Veneri ne postoje vodene površine poput Zemljinih okeana to se za pojmove "visoko" i "nisko" koristi srednji radius

U ovoj seriji vasioniskih stanica, lansiranih u cilju ispitivanja planete Venere, vrlo važne su bile stanice "Venere 9" i "Venere 10", koje su sovjetski naučnici poslali sa ciljem da se meko spuste na ovu planetu i pošalju prve snimke njene površine. 22. oktobra 1975. godine "Venere 9", a tri dana kasnije i "Venere 10", uspješno su se spustile u dva različita regiona tajanstvene planete. Ovo su, ujedno, bile prve, historijske fotografije koje su napravljene na površini neke druge planete. Obzirom na visoke temperature, koje vladaju na dnu vazdušnog okeana ove planete, stanice su radile samo kraće vrijeme, dok se nisu pregrijale i prekinule sa radom. Pri



Sl.1.5. Fotografije Venere koje su napravile stanice "Venera 13" i "Venera 14".



Sl.1.6. Planeta Venera snimljena iz neposredne blizine. Snimke je napravila letjelica "Pioneer Venus". Lako se vide globalna kretanja u gustom atmosferi ove planete.



planete. Oko 20% površine su nizije ispod nivoa prosječnog radiusa, 70% pripada oblastima koje manje više leže u okviru tog prosječnog radiusa koji nam ovdje zamjenjuje morski nivo na Zemlji, dok su 10% visoravni. Na visoravni zvanj Ishtar Terra (Zemlja boginje Ištar) nalaze se Maksvelove planine (Maxwell Montes) koje sadrže najviši vrh smješten oko 11 kilometara iznad prosječnog radiusa Venere. Visoravni na Veneri u nekom pogledu predstavljaju kontinente i tako se visoravan nazvana Aphrodite Terra (Afroditina Zemlja) pruža 10 000 kilometara duž ekvatora planete i ispresjecana je pukotinama dubokim i do 3000 metara. Radarska posmatranja su pokazala postojanje kružnih formacija koje su vjerovatno krateri, a oni veći od 300 km u prečniku su očito vulkanskog porijekla.

### 1.3 M A R S

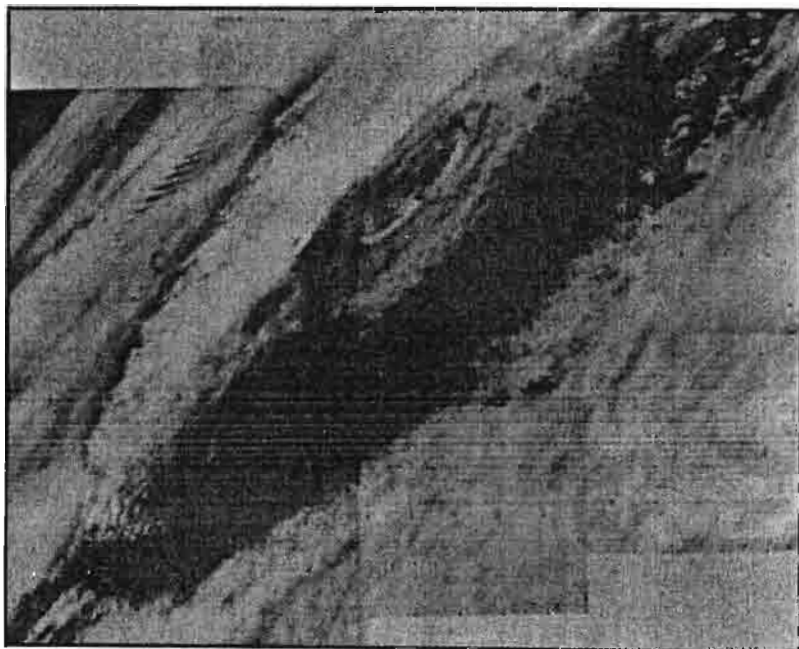
Svojom crvenom bojom ova planeta je rano skrenula pažnju na sebe. Zbog tog krvavog crvenog sjaja stari narodi su joj dali ime boga rata. Mars je, bez sumnje, jedna od najbolje ispitanih planeta Sunčevog sistema. Tome doprinosi niz povoljnih okolnosti. Prije svega, on ima veoma rijetku atmosferu. Detalje površine je stoga lako posmatrati. Kada se nalazi u opoziciji, Mars je vidljiv čitave noći. Zbog ekscentričnosti orbite, ova planeta, u određenim vremenskim razmacima, može da se približi Zemlji na rastojanju od samo 56 miliona km. To su tzv. velike Marsove opozicije koje se naizmjenično ponavljaju svakih 15 i 17 godina.

Prividni prečnik Marsa, u vrijeme velike opozicije, iznosi oko 25 ugao-nih sekundi. 10. avgusta 1971. godine desila se Velika opozicija Marsa. Još od juna mjeseca Mars se mogao dobro posmatrati jer je već bio dovoljno sjajan. U teleskopu se izvanredno opažaju detalji njegove površine, kao što su polarne kape i tamne oblasti. Prečnik Marsa je 6788 km.

Jedan obrtaj oko svoje ose Mars izvrši za  $24^h 37^m 22^s.56$ . Nagib njegove ose prema ekliptici je oko  $25^\circ$ . Jedna Marsova godina ima 687 zemaljskih dana. Dugogodišnja posmatranja crvene planete su pokazala da se na njenoj površini u osnovi mogu opaziti tamne i svjetle oblasti. Svjetle zone, koje zauzimaju  $3/4$  njegove površine, imaju narandžasto crvenkastu boju. Pretpostavlja se da su te oblasti neka vrsta pustinja, a njihov pijesak bi, prema nekim pretpostavkama, trebalo da sadrži dosta limonita ( $Fe_2O_3 \cdot xH_2O$ ). Limonit im daje karakterističnu crvenu boju.

U prilog tvrdnji da su svijetle oblasti pustinjskog karaktera, ide pojava zamućenosti ogromnih dijelova površine Marsa. Tu zamućenost stvara neka vrsta žutih oblaka, koji bi mogli biti tvorevina pješćanih oluja. 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 njegovih polarnih kapa. Kada nastupi Marsovo ljeto, ove



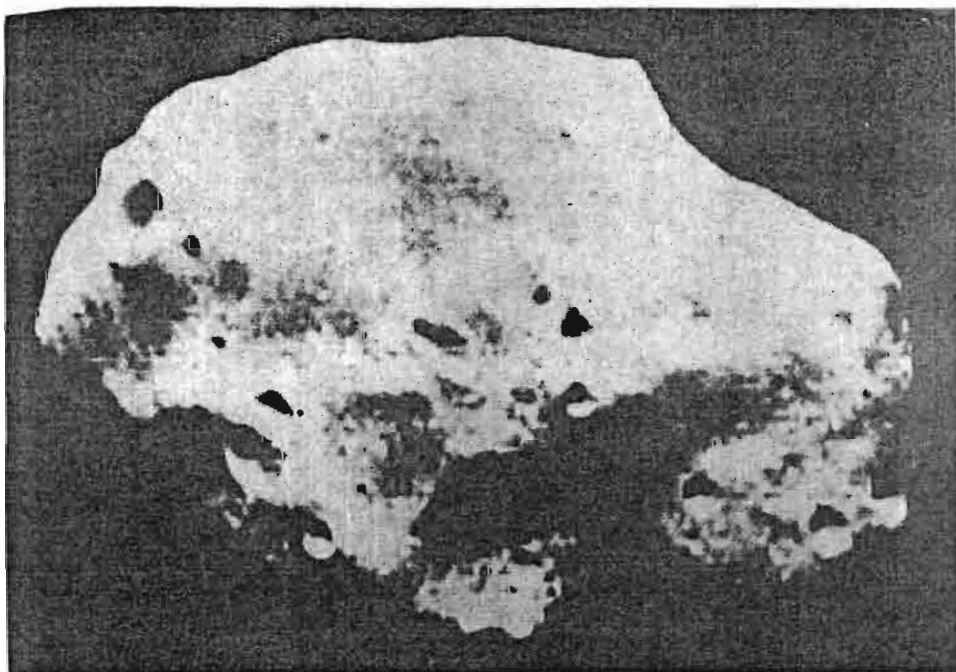
Sl.1.7. Marinerov snimak kratera Olympus Mons  
(Fotografija NASA).

bijele zone na polovima upadljivo počinju da se smanjuju. Sa približavanjem zime one rastu. Javile su se dvije osnovne pretpostavke o sastavu ovog bijelog pokrivača. Po jednom, on bi se mogao sastojati iz smrznutog ugljen-dioksida, ili suhog leda, kako ga još zovu. Po drugoj pretpostavci to je obični led. Infracrvena posmatranja pomoću stanice "Viking 2", dokazala su da je sjeverna polarna kapa građena od mješavine vodenog leda i prašine.

Tamne oblasti zauzimaju manji dio površine planete. Neki posmatrači su primijetili da te zone, sa promjenom godišnjih doba, mijenjaju svoju boju. Ova čudna pojava navela je neke astronome da pretpostave, da su ove zone prekrivene nekom vrstom vegetacije. Da bi se to dokazalo, vršena su mnogobrojna istraživanja, ali ona nisu dala nikakve dokaze u prilog ovakvih



tvrdnji. Jedan od prvih istraživača Marsa, italijan Skiapareli, otkrio je da su ove tamne oblasti spojene mnogobrojnim tamnim linijama koje se ukrštaju prelazeći preko svijetlih oblasti. Te linije on je nazvao kanalima i dugo vremena trajale su polemike da li one uopšte postoje. Naime, neki posmatrači su ih vidjeli, a drugi ne. Letovi međuplanetarnih stanica su opovrgli teoriju kanala.

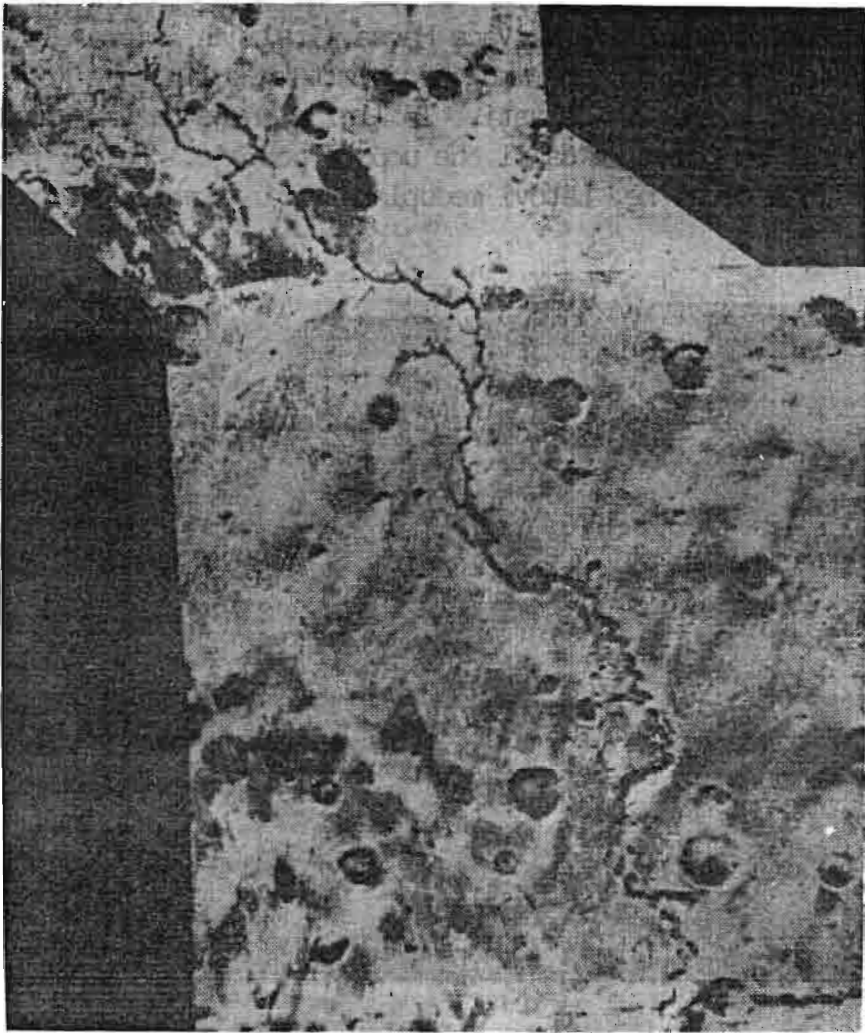


Sl.1.8. Marsov satelet Fobos, snimljen kamerom "Marinera 9".  
(Fotografija NASA).

Razna mjerenja su pokazala da se temperatura, u ekvatorskim oblastima, u podne kreće oko  $20^{\circ}\text{C}$ . Na zalazu Sunca ona pada do  $-70^{\circ}\text{C}$ . Prema polovima je temperatura još niža.

Nakon 1965. godine veći broj američkih i sovjetskih letjelica bio je upućen prema Marsu. To su bile međuplanetarne stanice iz serije Mariner i Viking (USA) i Mars (SSSR). Direktna spuštanja na površinu crvene planete, obavile su stanice "Viking 1" i "Viking 2", koje su mjesecima slale fotografije, analize atmosfere, tla, i slično. Sva ta istraživanja dovela su do sljedećih saznanja o Marsu.

Na Marsu od geoloških oblika uočavamo: Kratere (udarne i vulkanske), planinske lance, kanjone i kanale, te manje oblike. Dobar dio južne hemisfere planete prekriven je kraterima koji najvjerovatnije potiču iz rane istorije Marsa (od prije 4 milijarde godina). Dosta kratera je prečnika većih od 20



Sl.1.9. Marinerov snimak Marsove površine.  
(Fotografija NASA).

kilometara. Često su zone između ovih kratera prekrivene čitavim spletom kanala koji liče na presušena riječna korita. Udarni krateri generalno liče na udarne kraterne na Mjesecu, ili Zemlji, ali su još sličniji onima na ledenim satelitima vanjskih planeta.

Posebno impresivne geološke strukture na Marsu su njegovi vulkani. Pojavljuju se najčešće u Tharsis, Elysium i Hellas. U oblasti Tharsis smještene su četiri velika vulkanska kratera od kojih je jedan, Olympus Mons (Sl. 1.7.), najveći u Sunčevom sistemu. Ova kupasta planina ima prečnik baze od oko 700 kilometara, i visinu od oko 25 kilometara iznad srednje površine Marsa. Poređenja radi, najveći vulkan na Zemlji, Mauna Loa na Havajima, ima prečnik od 120 km, a diže se na visinu od 9 km u odnosu na dno Tihog okeana.

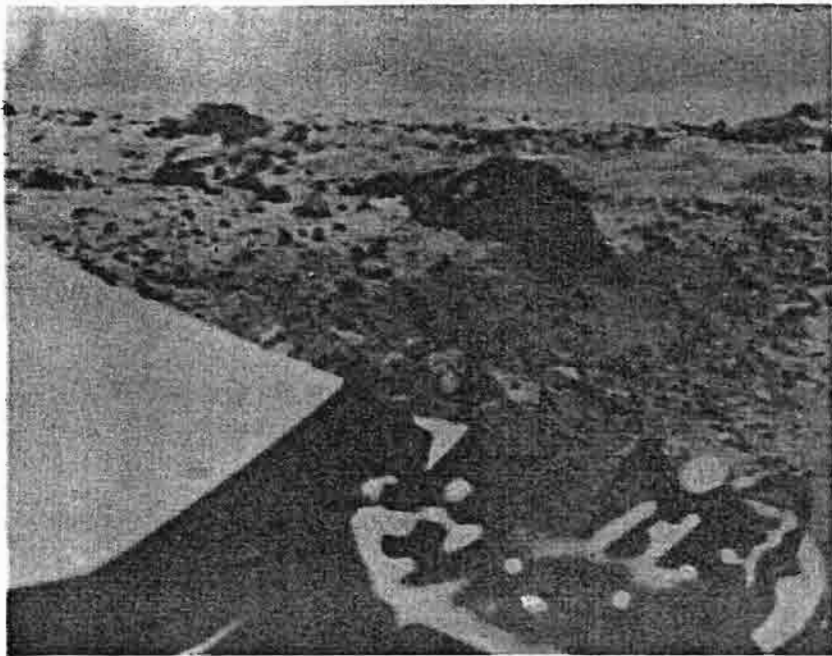
Istočno od Tharsis-a, malo južno od Marsovog ekvatora, nalazi se ogromni splet međusobno povezanih kanjona. U prosjeku, pojedini kanjoni su po 3 km



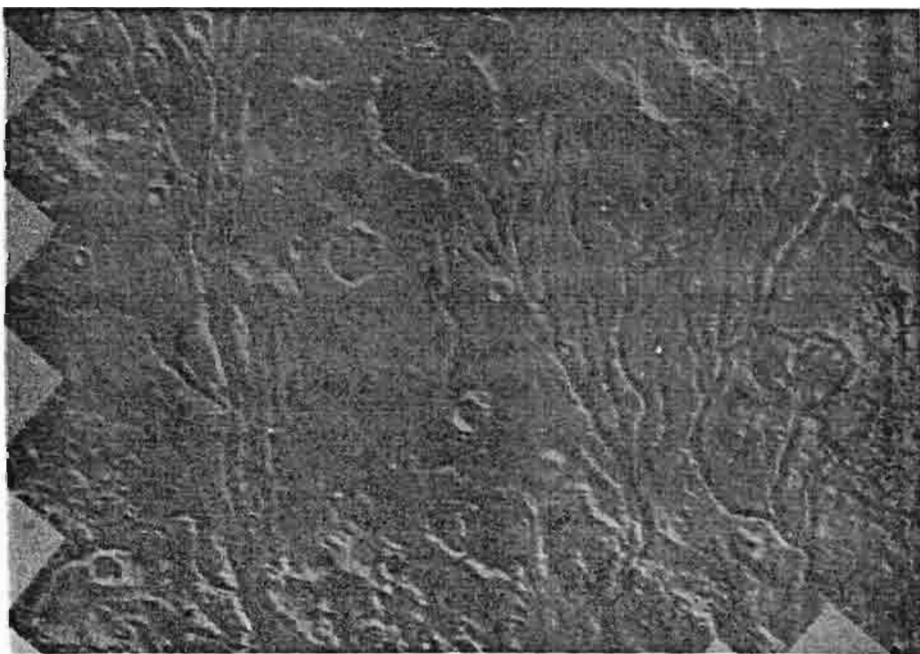
Sl.1.10. Predio 2 stepena južno od Marsove ekvatora. Na snimku načinjenom letjelicom "Viking 1" vidljive su krivudave doline nastale najvjerovatnije seizmičkim procesima.



Sl.1.11. Pejzaž na Marsu oko Viking-a snimljen 20. jula 1976. godine. Vidljiva je veća količina kamenja raznih dimenzija, te prašina i očit uticaj eolske erozije (erozija vjetra).

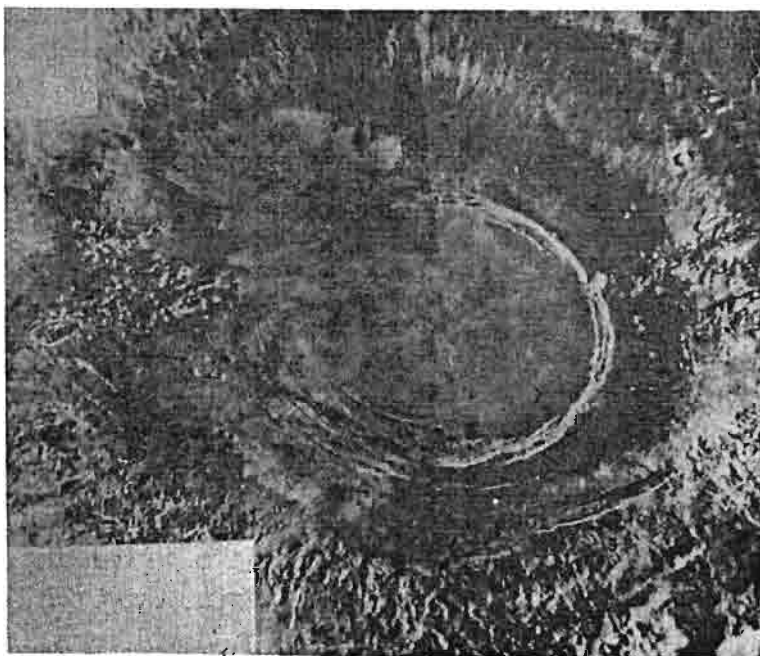


Sl.1.12. Izmaglica na Marsovom nebu i velika stijena dominiraju na ovom snimku "Vikinga". Stijena je široka 3 m i visoka oko 1 m. Sitni pjesak i prašina su nanoseni vjetrom.



Sl.1.13. Oblast na Marsu zapadno od Chryse Planitia. Kanali koji se vide na snimku sugerišu na ogromne poplave koje se se tu zbivale u davnoj prošlosti planete. U nekim slučajevima kanali su prosjekali i kratere, dok su neki krateri utisnuti u kanale i očigledno mladi od njih. Izvori tujica koje su formirale kanale leže, najvjerovatnije, u zoni Lunae Planum.

duboki i preko 100 km dugi. Opaženi su i po 7 km duboki kanjoni. Vrlo često se u kanjonima mogu opaziti naslage sedimenata, koje neki planetolozi objašnjavaju jezerima, koja su postojala na tim mjestima tokom ranije istorije Marsa. Sa pojedinih oblasti, gdje dominiraju kanjoni, polaze široki i plići kanali. Njihov izgled podsjeća na mjesta na Zemlji gdje su se odvijale katastrofalne poplave, pa se i smatra da su ove tvorevine sličnog porijekla.



Sl.1.14. Krater Arsia Mons na snimku koji se sastoji iz pet pojedinačnih fotografija Vikinga. On je jedan od tri velika vulkana oblasti Tharsis. Uzdiže se na visinu od oko 19 kilometara u odnosu na okolni teren. Ima prečnik oko 120 kilometara. Spada među najmlađe geološke oblike na Marsu.

Iako je atmosfera ove planete rijetka, na njoj su česti vjetrovi i uopšte, značajan je udio eolske (vjetrom izazvane) erozije. Stanice spuštene na površinu planete dale su vrijednost brzina vjetrova od 2 do 7 metara u sekundi. Tokom perioda poznatih Marsovih pješčanih oluja ta brzina raste na 15 do 30 metara u sekundi. Gotovo sva površina planete prekrivena je jednim prašinastim slojem. Ta prašina ima osobinu da se nakuplja iza kamenja i stijena (kao što to pokazuju fotografije sa Vikingovih lender-a), ali i iza kratera i drugih velikih geoloških oblika. Uzrok je vjetar. Česte pojave na Marsu su zbog toga i pješčane dine poput onih sa zemljinih pustinja.

Oblasti na Marsovim polovima se razlikuju od ostalog dijela planete. Oni su slojevite strukture i vjerovatno se tu prašina taloži tokom Marsove

zime, kada se kape šire. Južna kapa je znatno manja i ljeti praktično nestaje, što nije slučaj sa sjevernom kapom. Debljina pojedinih slojeva, koji su nagomilani jedan na drugi, na sjevernoj kapi iznosi 50 do 100 metara. Obzirom, da na polarnim slojevima nema tragova udarnih kratera, to su oni očito mladi i ne stariji od desetak miliona godina, koliko je potrebno da se postupno rakupe.

Tokom eksperimenata sa letjelicama "Viking 1 i 2" izvršen je pokušaj, da se ustanovi, da li na Marsu postoje makar najprimitivnije forme života. Eksperiment je dao negativne rezultate.

Mars ima dva satelita. To su Fobos i Deimos koje je otkrio američki astronom Holl 1877. godine. Prečnik Fobosa je oko 23 km, a od Marsa je udaljen nekih 9350 km. Deimos je manji, prečnik mu iznosi 13, km a daleko je 23 500 km od matične planete. Snimci načinjeni iz blizine (Sl.1.8) pokazuju da je Fobos veoma izbrazdan kraterima, a oblik mu je nepravilan.

## 1.4 ASTEROIDI

Veliki prostor između orbita Marsa i Jupitera zauzimaju mala tijela koja se nazivaju asteroidi.

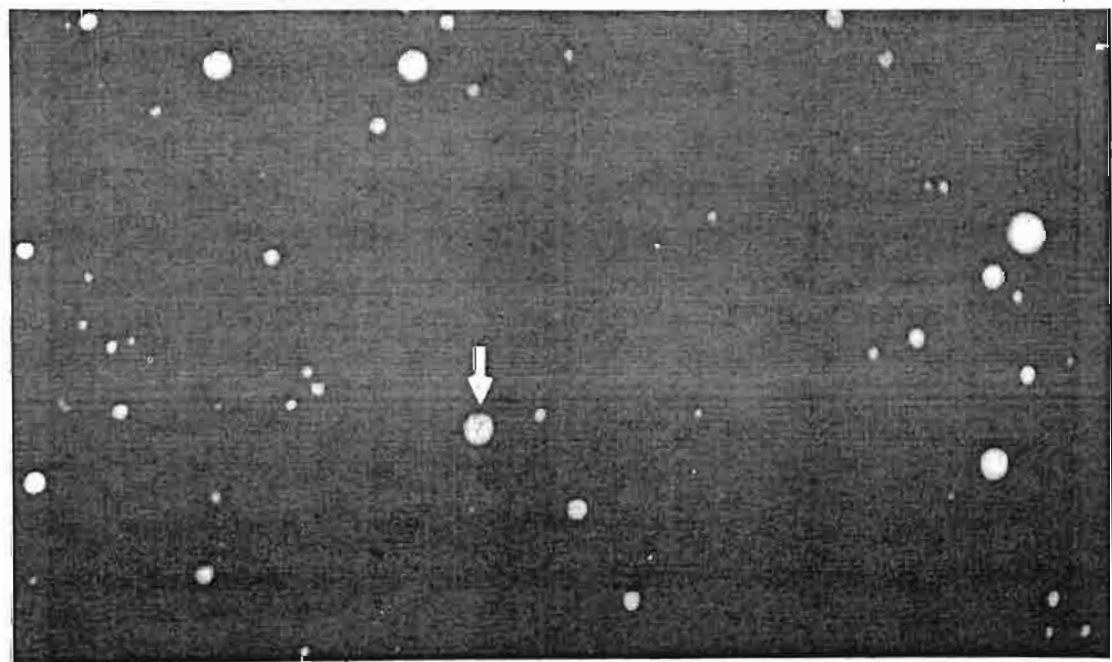
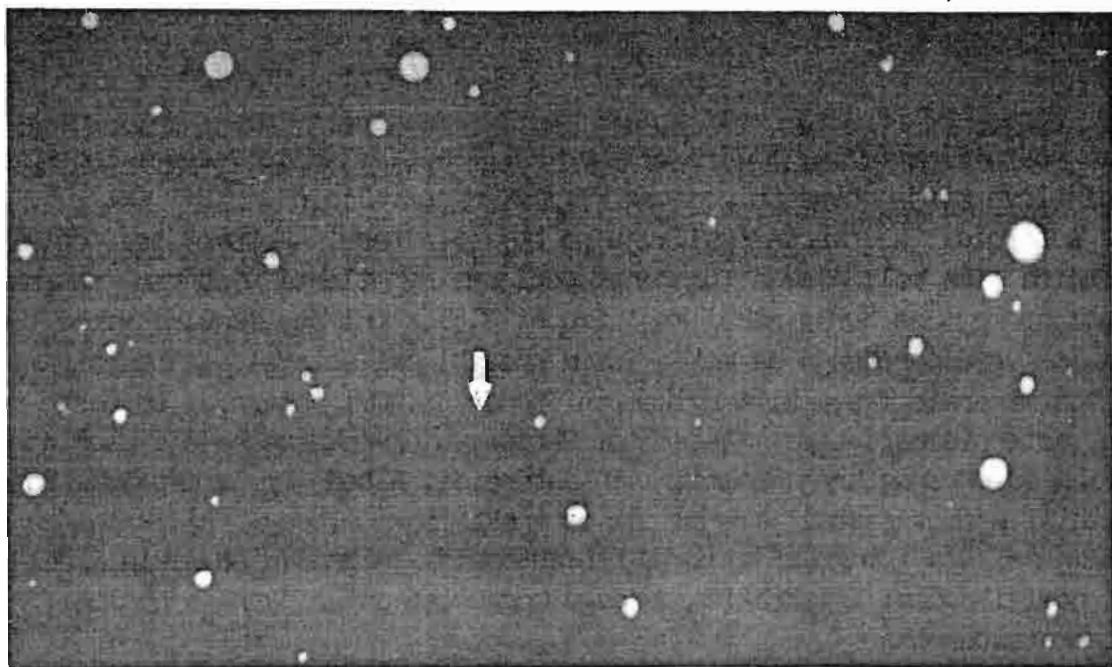
Prvi asteroid otkrio je Piazzi sa opservatorije u Palermu, još 1801. godine. On je dobio ime Ceres. U prvi momenat smatralo se da je otkrivena nova planeta koja upotpunjuje prazninu između Marsa i vanjskih planeta. Međutim, uskoro je došlo do novih otkrića. Tako je Harding 1804. godine otkrio Juno, a Olbers, tri godine kasnije, Vestu. Ovaj posljednji asteroid moguće je nekada posmatrati i golim okom, kada je dovoljno sjajan.

Kasnije su opažene desetine i desetine novih malih planeta. Danas ima gotovo 2000 asteroida čiji su elementi putanja poznati u potpunosti. U početku su otkrića ovih objekata vršena vizuelnim putem. Asteriodi se kreću dosta brzo. Zato je u toku relativno kratkih vremenskih intervala moguće opaziti njihovo pomjeranje među zvijezdama. Primjena fotografije znatno je pojednostavila opažanje planetoida. U toku duže ekspozicije, astrograf prati kretanje Zemlje i tako zvijezde ostaju sjajne tačke. Asteriodi, zbog sopstvanog kretanja, na fotografskoj ploči ostavljaju trag u vidu duže ili kraće crtice.

Izuzev Veste, svi ostali asteroidi su ispod 6-te veličine po svom prividnom sjaju. Putanje su im različite i kreću se od gotovo kružnih pa do eliptičnih sa velikim ekscentricitetom. Posebno interesantno kretanje imaju male planete iz grupe Trojanaca. One predstavljaju primjer specijalnog slučaja problema tri tijela koji je moguće egzaktno riješiti. Naime, Trojanaci, zajedno sa Suncem i Jupiterom, čine ravnostrani trougao. Kreću se tako da neprekidno ostaju u vrhu tog trougla.

Neki od asteroida, pri svom kretanju oko Sunca, mogu da dođu Zemlji na veoma malo rastojanje. Tako je Ikar 1968. godine prošao na rastojanju od oko 7 miliona kilometara. Ceres, najveći asteroid, ima prečnik oko 1000 km,

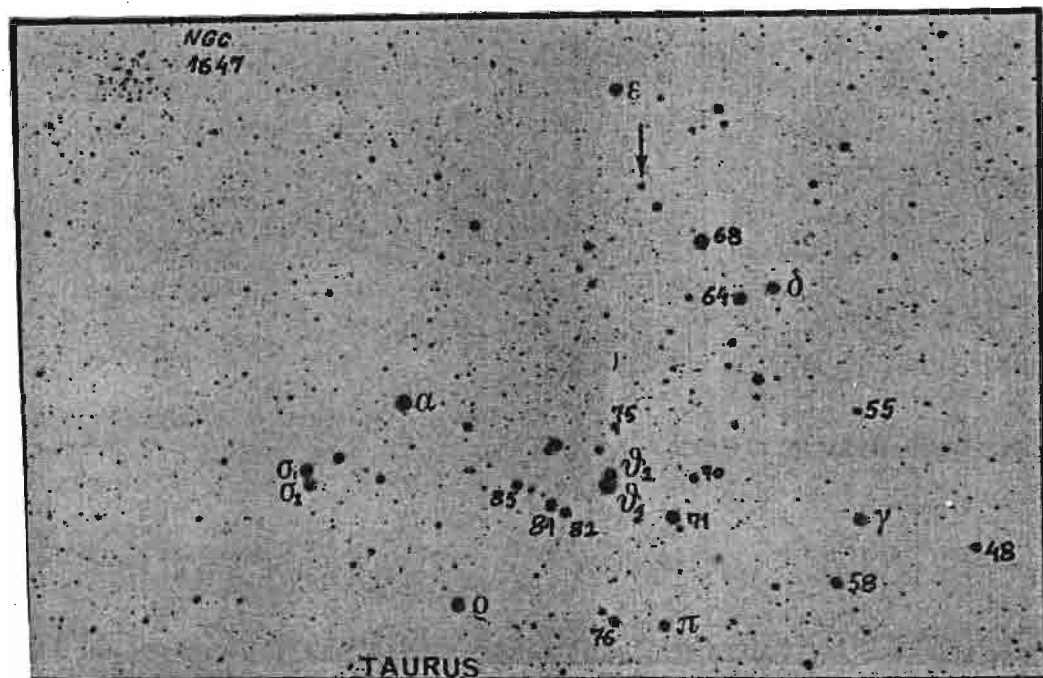




Sl.1.15. Asteroid Eros snimljen sa Astronomske opservatorije u Sarajevu. Na gornjoj slici, koja je data radi poredenja, je ista oblast neba. (Fotografija: M.Muminović, Astronomska opservatorija, Sarjevo).

dok Vestin iznosi 500-600 km. Svi drugi asteroidi imaju u prosjeku znatno manje dijemetre, a kod mnogih se dimenzije mogu mjeriti stotinama metara. Kod nekih asteroida su opažene promjene sjaja. Tako Antigonu mijenja sjaj u toku 0,10 dana, a Eros za 5 sati. Ovo se objašnjava time što ova tijela imaju veoma nepravilnu formu. Rotirajući oko neke ose, asteroidi okreću naizmjenično dijelove svoje površine koji se razlikuju po veličini.

Asteroidi se veoma razlikuju po boji i albedu. Gotovo tri četvrtine asteroida ima mali albedo (procenat odbijene svjetlosti u odnosu na ukupnu svjetlost koja sa Sunca pada) koji iznosi 3,5%. Oni su, dakle, veoma tamni. Kada se vrše poređenja sa meteoritima onda bi ovi asteroidi, posmatrani sa aspekta mineralogije, bili ugljenični hondriti. Ovi asteroidi se često nazivaju asteroidima C-tipa. Asteroidi S-tipa su crvenkaste boje i sačinjavaju šestinu od ukupnog broja posmatranih asteroida. Albedo im je oko 16%. Najvjerojatniji njihov sastav je, sudeći po spektrima i albedu, silikatni sa primjesama željeza i magnezijuma. M-tip asteroida je građen od nikla i željeza. Ovi noviji podaci i istraživanja daju mogućnost da se jasnije nasluti način postanka asteroida.



Sl.1.16. Strijelica pokazuje asteroid Ceres koji se krajem 1975. godine našao u sazviježđu Bika. (Snimak M.Muminovića, Astronomska opservatorija u Sarajevu).



Postanak asteroida je još uvijek otvoren problem. Postavljeno je više hipoteza o tome. Po jednoj od njih, oni bi bili dijelovi materije koja je preostala poslije formiranja planetarnog sistema oko Sunca. Druga mogućnost se sastoji u sljedećem. Ova mala tijela bi mogla biti ostaci neke planete koja se, u toku istorije Sunčevog sistema, raspala. Raspad je mogao da ima različite uzroke, a jedan od njih je djelovanje snažnih gravitacionih sila Jupitera na planetu koja mu se isuviše blizu primakla.

Putanje mnogih asteroida podsjećaju na kometske. Tako se javila pretpostavka da oni predstavljaju jezgra starih kometa. Nema sumnje da meteorska materija ima neku vezu sa asteroidima, a poznato je postojanje veze između kometa i meteora. Time se ova mogućnost javlja kao interesantna, jer rasvjetljava eventualnu povezanost ove tri vrste nebeskih tijela.

U januaru 1975. godine, Zemlji se približio asteroid Eros. Za njega smo već pomenuli da je karakteristično da mijenja sjaj. Otkrio ga je G. Witt 1898. godine, a posljednji put se Zemlji približio 1931. godine. U vrijeme minimalnog rastojanja ovaj asteroid je imao sjaj od  $7^m.8$ .

## 1.5 METEORI

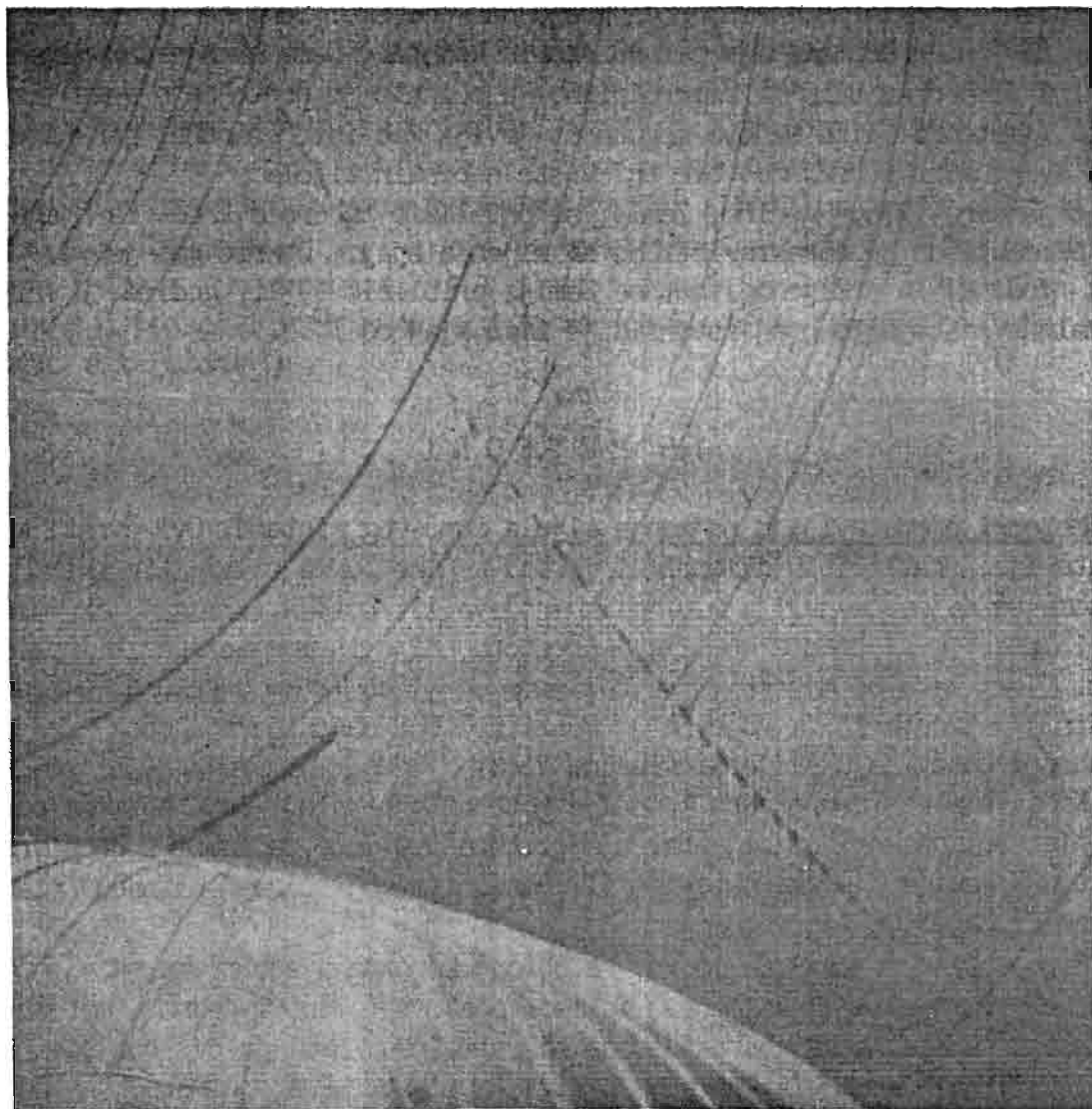
Meteori predstavljaju najmanja tijela Sunčevog sistema. Ovi čvrsti komadi materije, različitih dimenzija, kreću se oko Sunca različitim putanjama. Pri tome se najčešće javljaju u obliku rojeva ili potoka. Zbog malih dimenzija i mase, u slobodnom kosmičkom prostoru, nije ih moguće opaziti optičkim putem. Tek kada se meteori, sa brzinama od 11 do 72 km u sekundi, nađu u Zemljinoj atmosferi, moguće ih je opaziti. Oni sagorijevaju zbog trenja sa vazduhom i ostavljaju svijetli trag na nebu.

Kada u atmosferu prodre krupnije meteorsko tijelo, onda se može posmatrati let bolida koji uz blještav sjaj i tutnjavu može da dopre i do površine Zemlje. Komadi meteorske materije ili meteorita koji padaju na našu planetu mogu se izučavati u laboratorijama.

Meteorskih rojeva ima mnogo, a obično se označavaju prema sazviježđu u kojem se nalazi njihov radijant. Naime, pošto se članovi jednog meteorskog roja kreću paralelno u prostoru, onda se posmatraču čini da svi oni dopiru iz jedne tačke na nebu. Ta tačka se naziva radijant. Postoje meteorski potoci Perzeida, Lirida, Akvarida, Kasiopeida itd. Svaki od njih se javlja u određeno doba godine kada ih Zemlja susreće pri svome putu oko Sunca. Nagibi putanja većine rojeva se poklapaju sa ravni ekliptike, ali postoje odstupanja. Tako Perzeidi imaju putanju koja je normalna na ravan Zemljine orbite.

Istraživanja u toku niza godina, ukazala su na veze između meteora i kometa. Tako roj Drakonida potiče od ostatka kometa Dakobini-Ciner, ali slične veze su otkrivene kod još nekoliko potoka. Meteori se razlikuju po svom sjaju, ugaonoj brzini leta i opštem izgledu. Obično se javljaju u obliku

dužeg ili kraćeg traga. Ukoliko su većeg sjaja moguće je snimiti njihove tragove pomoću običnog fotoaparata. Za opšta ispitivanja meteora najpogodnije su širokougaone kamere, jer su tragovi meteora, u najvećem broju slučajeva, veoma dugi. Najbolje je rasporediti više kamera koje bi prekrile čitavo nebo. Tada je vjerovatnost, da će neki meteor ostati snimljen u vrijeme ekspozicije, mnogo veća.



Sl.1.17. Fotografija sjajnog meteorora-bolida nad Sarajevom.  
(Snimak Astronoske opservatorije u Sarajevu).

Ukoliko se ispred objektiva kamere stavi prizma (to je tzv. objektivna prizma) onda se može snimiti i spektar meteora. Takve snimke je teško dobiti, jer samo sjajni meteoriti mogu da ostave tragove na filmu. Pored toga, javlja se problem orijentacije prizme u odnosu na kretanje meteora. U zavisnosti od

toga, spektralne linije mogu da se na razne načine deformišu i to otežava njihovu identifikaciju. Analiziranje spektara se obično vrši na taj način da se koristi spektar neke sjajnije zvijezde iz okoline.

Krećući se oko Sunca, Zemlja ulazi u meteorske potoke i nekada se dešavaju tzv. zvjezdane kiše. To se dešava kada Zemlja uđe duboko u središnje zone meteorskog roja. Tada više časova nebo vrvi od meteora koji iz sekunde u sekundu neprestano ulijeću u atmosferu. Jedna od jačih zvjezdanih kiša desila se 1933. godine kada je Zemlja ušla u potok Drakonida.



Sl.1.18. Meteorski krater u Arizoni prečnika 1200 m i dubine 175 m.

Visina na kojima se meteori pojavljuju može se mjeriti. Dva posmatrača treba da istovremeno zapaze isti meteor sa tačaka koje su međusobno udaljene barem nekoliko kilometara. Bolji rezultati se postižu ako se vrši istovremeno snimanje iste oblasti neba sa dvije kamere, koje su raspoređene na udaljenosti od desetak kilometara jedna od druge. Trigonometrijskim putem nije teško doći do podataka o visini meteora nad površinom Zemlje. U novije vrijeme se posmatranje meteora vrši i pomoću radara. Poslani signali se odbijaju o jonizovani trag koji meteor ostavi, i vraćaju se natrag. U ovome se istakla radio opservatorija Džodrel Benk kod Mančestera.

Kao što je već spomenuto, krupnija meteorska tijela mogu da dopru do površine planete. U toku istorije je bilo dosta padova, ali se na to nije obraćala velika pažnja, jer se sumnjalo u mogućnosti da kamenje pada sa neba. Najveći od poznatih meteorita je Hoba. Nalazi se u Južnoj Africi i ima

težinu od oko 50 tona.

Hemijski sastav meteorita je takav da je kod 66 % nadenih tijela željezo osnovni elemenat. Međutim, ovaj podatak nije baš pouzdan, jer je drugu vrstu meteorita, tzv. kamene meteorite, teško razlikovati od običnog kamenja na Zemlji. Njih je vjerovatno nadenjeno u manjem broju od onih prvih. Željezni meteoriti, pored željeza, imaju u svom sastavu nikl, kobalt, fosfor i, u manjim količinama, druge elemente. Kod kamenih se sreću kisik, željezo, silicijum i mangan.

Neki, veoma veliki meteoriti, su svojim udarom o Zemlju ostavili ogromne kratere. Jedan od najpoznatijih se nalazi u Arizoni (USA). To je čuvena "Davalova jaruga" (Sl.1.18), čiji prečnik iznosi oko 1200 m, a dubina 175 metara. U Argentini, na mjestu zvanom Kampo del sielo (Zvjezdano polje), nalazi se čitava grupa kratera raznih prečnika.

1908. godine u rejonu rijeke Podkamenaja Tunguska u Sibiru, desila se ogromna eksplozija izazvana padom velike užarene lopte. Jedna od pretpostavki je da se radilo o ogromnoj meteorskoj gromadi, ali ima i drugih pretpostavki. Taj problem još nije riješen.

## 1.6 Z O D I J A Č K A S V J E T L O S T

Ogromni oblak čestica prašine koji okružuje Sunce, svjetluca odbijajući njegove zrake. Ova pojava je poznata kao zodijska svjetlost. Najveći dio ove materije leži u ravni ekliptike, pa je po sazviježđima zodijska i dobila ime. Moguće ju je vidjeti u proljeće neposredno po zalazu Sunca, i u jesen prije izlaza. Vidljiva je u obliku trouglaste trake slabe svjetlosti koja se sužava idući od horizonta po ekliptici.

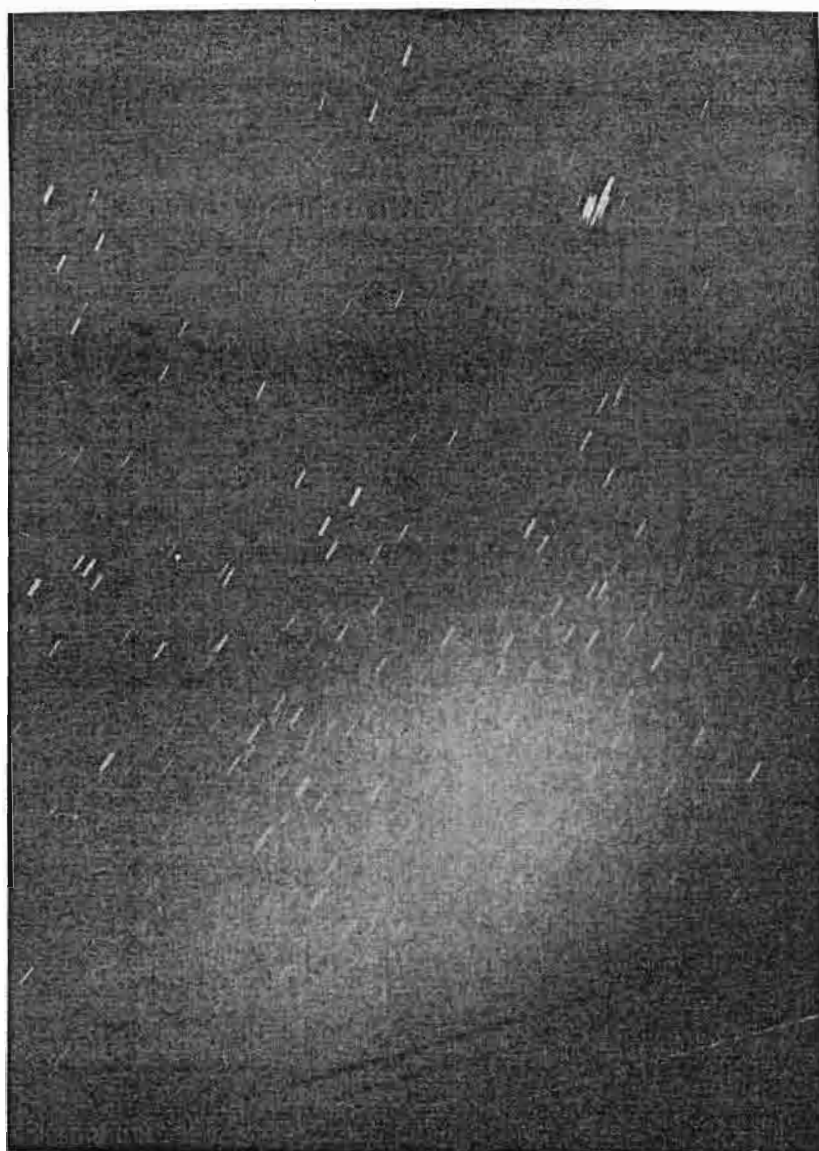
Za posmatranje zodijske svjetlosti potrebna je čista atmosfera izvan gradova. Ovaj oblak međuplanetarne materije se prostire i dalje od Zemljine orbite.

Sa visokih planinskih opservatorija, gdje je vazduh prozračan, može se opaziti još jedna zanimljiva pojava slična prethodnoj. U slobodnom prevodu mogli bismo je zvati "svjetlucanje nasuprot Suncu". Naime, nekih 180° od Sunca, idući po ekliptici, vidljiva je mrlja veoma slabog sjaja. Ona potiče od čestica koje se prostiru dalje od Zemlje, a nasuprot Suncu. Posmatranje ove pojave skopčano je sa poteškoćama, jer je ova mrlja veoma slabog sjaja.

## 1.7 K O M E T E

U najimpozantnije nebeske pojave nesumnjivo spadaju komete. U toku istorije čovječanstva pojavljivale su se brojne i veoma sjajne komete. Uvijek su izazivale užas jer su smatrane prethodnicima nesreća.

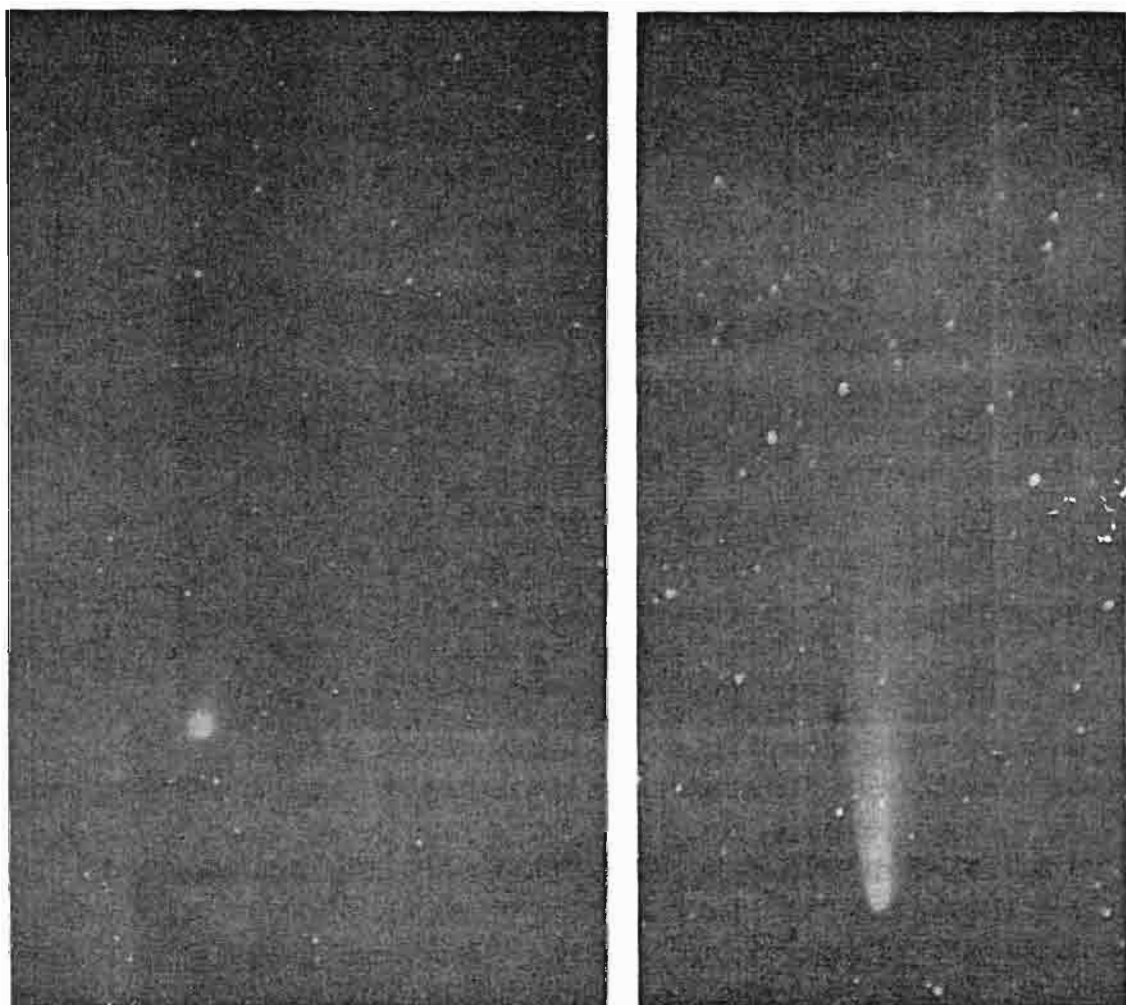
Orbite ovih nebeskih tijela su veoma različite. U opštem slučaju može se smatrati da postoje tri moguće putanje. To su eliptične, parabolične i



Sl.1.19. Zodijska svjetlost. (Fotografija "Sky & Telescope")

hiperbolične. Kao što je poznato, elipsa je zatvorena geometrijska figura sa dvije žiže. Jedna od najvažnijih geometrijskih veličina, koja karakteriše nabrojane geometrijske figure, je ekscentricitet. Za elipsu, ekscentricitet dobijemo, ako podijelimo rastojanje jednog od fokusa, od centra figure, sa velikom poluosom. Krug predstavlja granični slučaj i kod njega je ekscentricitet jednak nuli. Naime, fokus mu se poklapa sa središtem. Ekscentricitet elipse kreće se od 0 do 1. Kod parabole jednak je jedinici, a hiperbola ima ekscentricitet veći od jedan.

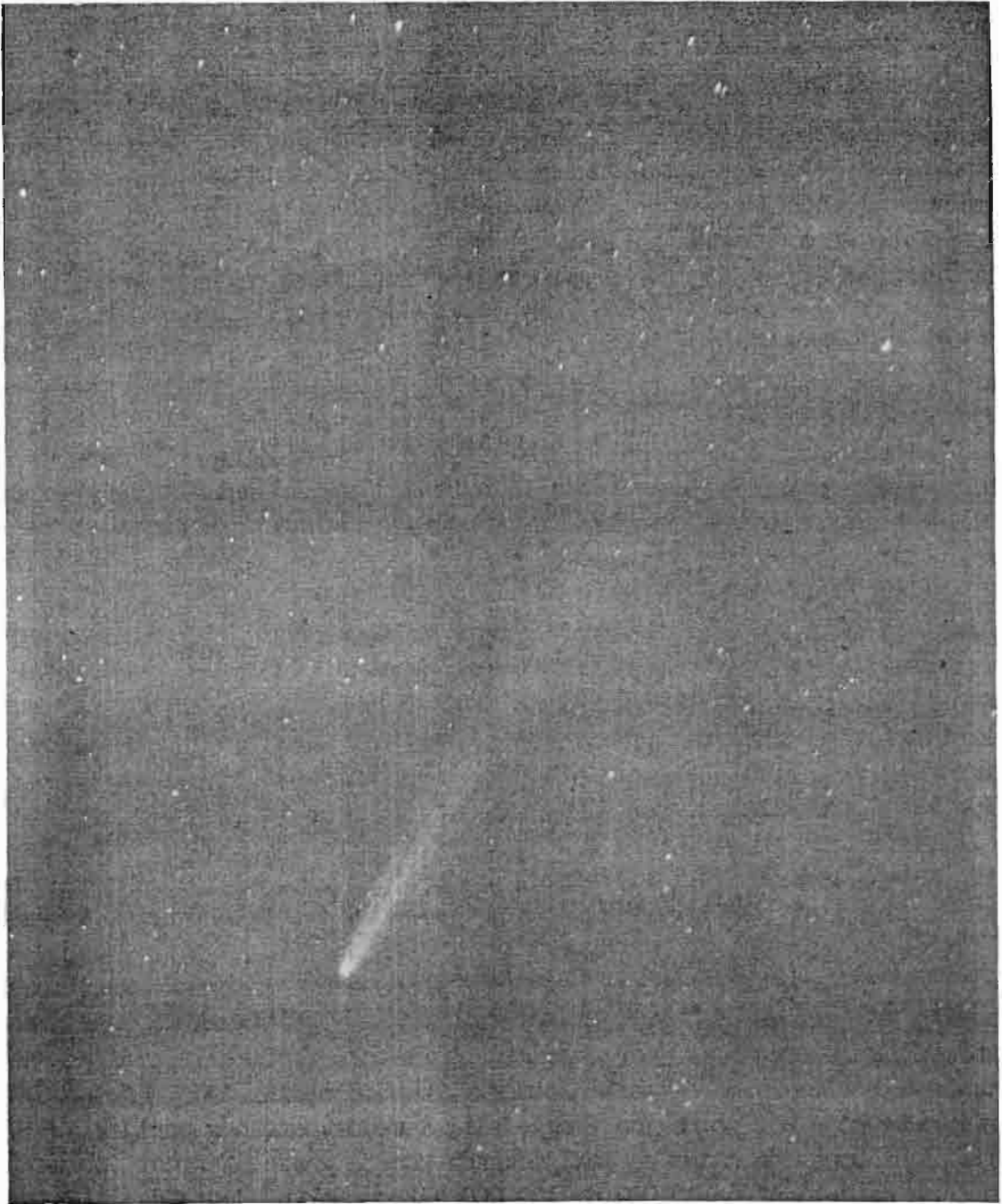
Komete se mogu općenito podijeliti na kratkoperiodične i dugoperiodične. Ove prve imaju ekscentricitet od 0.2 do 0.9. Među njima je naročito karakteristična Jupiterova porodica kometa. Smatra se da su one nekada bile dugoperiodične, ali ih je Jupiter svojom gravitacijom privukao i izmijenio im orbite. Komete koje imaju eliptične putanje kreću se oko Sunca brzinama manjim od 42 km/sec. Kod paraboličnih putanja ova brzina je jednaka 42 km/sec, a hiperbolične putanje imaju tijela koja se kreću brzinom većom od ove.



Sl.1.20. Lijevo je fotografija komete Kobajaši-Berger-Milon, snimljena u avgustu 1975. Na fotografiji desno je kometa Benett koja se prostim okom mogla posmatrati u rano proljeće 1970. godine. (Snimci: M.Muminović, Astronomska opservatorija, Sarajevo).



Kometa ima veoma mnogo i svake godine se otkriva najmanje nekoliko novih. Označavaju se, godinom otkrića i rednim slovima a, b, c, itd. Kasnije obično dobiju ime po svojim otkrivačima. Premda se po svom vanjskom izgledu veoma razlikuju, ipak je moguće uočiti izvjesne zajedničke karakteristike.



Sl.1.21. Kometa Kohoutek koja se takode mogla posmatrati golim okom.  
(Snimak: M.Muminović, Astronomska opservatorija, Sarjevo).

Dosadašnja saznanja o kometama govore da je glavni uzročnik, i centralno tijelo svih fenomena vezanih za ove pojave, lopta leda i prašine prečnika oko 1 kilometar. Približavajući se Suncu ona stupa u interakciju sa njegovim zračenjem, i dolazi do pojave raznih oblika koje možemo pratiti kroz postepen razvoj. Glavi dijelovi komete su jezgro, glava ili koma, vodonikov oblak oko glave i rep. Rep se razvija sa približavanjem komete Suncu i postoje dva osnovna tipa repova koji se često, istovremeno, mogu posmatrati kod jedne komete. Jedan tip repa građen je uglavnom od prašine, a drugi od plazme. Praškasti rep je žućkast, jer je njegova svjetlost reflektovana svjetlost Sunca. Plazmeni rep je plave boje jer je građen najviše od jonizovanog ugljen monoksida, čije zračenje ima maksimum na 420 nm, što ulazi u plavi dio spektra elektromagnetnog zračenja. Repovi građeni od prašine mogu imati dužinu od milion pa do više desetina miliona kilometara. Materija od koje je rep građen je izuzetno rijetka, te na nju nesmetano djeluje pritisak sunčevog zračenja. To je uzrok zbog kojeg su repovi kometa uvijek okrenuti suprotno od Sunca.

Plazmeni repovi su uvijek duži i dostižu i 100 miliona kilometara. Često pokazuju finu unutrašnju strukturu u vidu zgušnjavanja plazme, talasastih strujanja i slično.

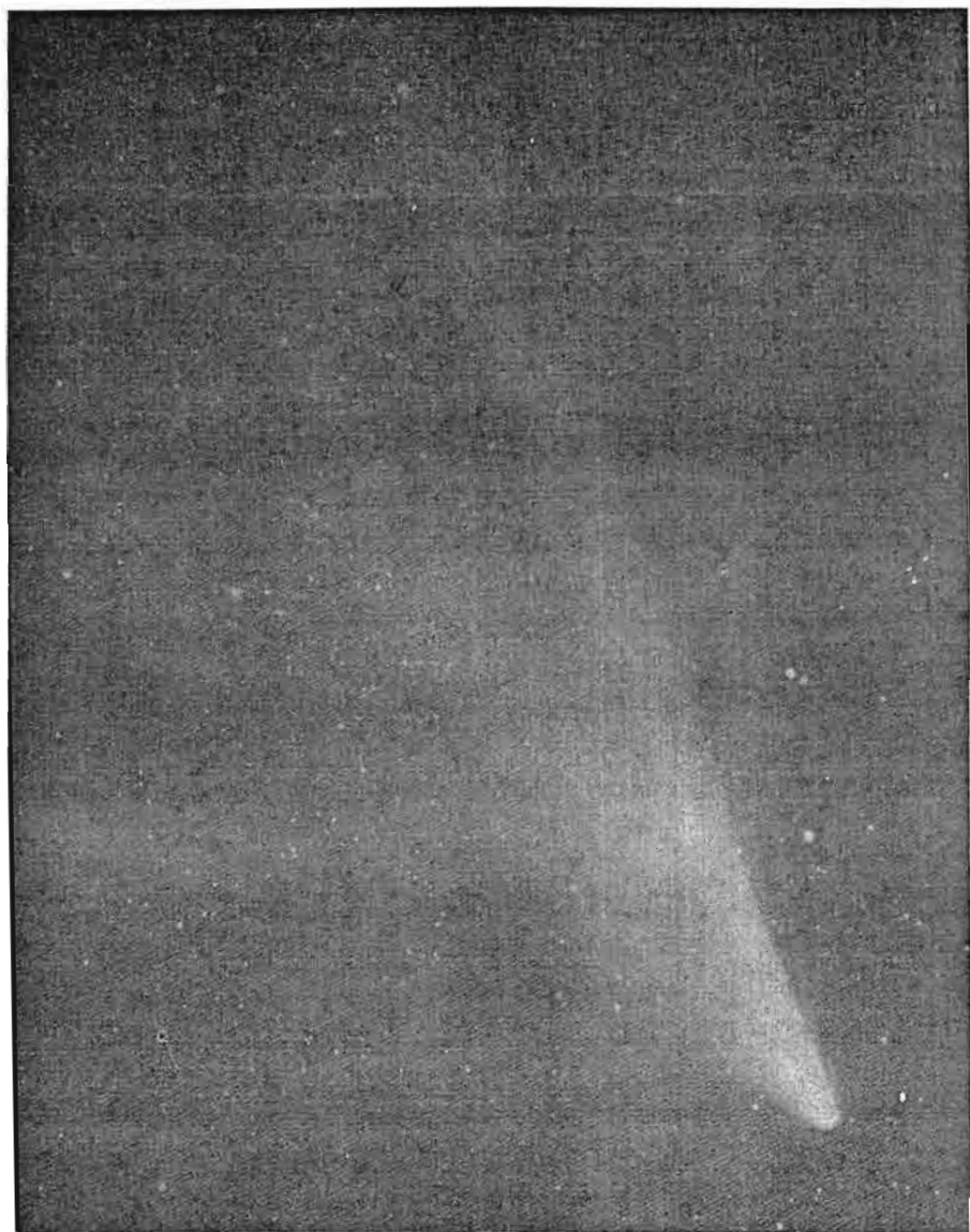
Vanatmosferska posmatranja nekih kometa (Tago-Sato-Kosaka, Benett, Kohoutek), u spektralnoj oblasti oko 121 nm, (ultraljubičasta oblast) pokazala su da su komete obavijene džinovskim oblakom vodonika. Pretpostavlja se da najveći dio ovog vodonika nastaje fotodisocijacijom koju izaziva sunčeva svjetlost.

Koma predstavlja sferični omotač prašine i gasova koji okružuju jezgro i ima prečnike od 100 000 do 1 000 000 km. Koma se pojavljuje tak kada se kometa približi Suncu na udaljenost od oko tri astronomske jedinice. U sastavu komete primjećuju se, uglavnom, neutralni atomi i molekule. Tako su opaženi: H, OH, O, S, C, C<sub>2</sub>, CH, CO, CS, NH, NH<sub>2</sub>, HCN, CH<sub>3</sub>CN, Na, Fe, K, Ca, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu.

Jezgro komete do sada nije bilo moguće direktno ispitivati. Približavanje Halley-eve komete i letjelice koje će joj biti upućene, pružaju mogućnost za nova saznanja o ovoj tvorevini, koja je nesumnjivi izvor gasova i prašine koji formiraju glavu i rep.

Poriijeklo kometa još uvijek predstavlja nerješenu zagonetku. Statistička istraživanja pokazuju da se većina kometa kreće po orbitama koje su direktne, i pod nagibima ne većim od 30°, u odnosu na ravan ekliptike. Ali, zapažene su i drugačije orbite i retrogradna kretanja. To se posebno odnosi na dugoperiodične komete koje bi, po nekima, mogle biti i međuzvezdanog porijekla. 1950. godine Jan Oort je došao do zaključka da komete grade sferični oblak oko Sunca, na razdaljini od 10 000 do 100 000 astronomskih jedinica. (Primjera radi, Suncu najbliže zvijezde iz sistema alfe Centauri udaljene su oko 150 000 astronomskih jedinica). Taj kometni oblak bi prema Oortu sadržao oko 200 milijardi kometa sa ukupnom masom od jedne desetine mase Zemlje. Gravita-





Sl.1.23. Kometa West snimljena u crvenoj svjetlosti 13. marta 1976. godine. Ako se poredi ovaj snimak sa slikom na predhodnoj stranici (Sl.1.22), vidi se velika razlika u obliku kometinog repa i to u rasponu od pet dana, u kom periodu su snimci napravljeni. (Fotografija Astronomske opservatorije u Sarajevu. Snimio M.Stupar).

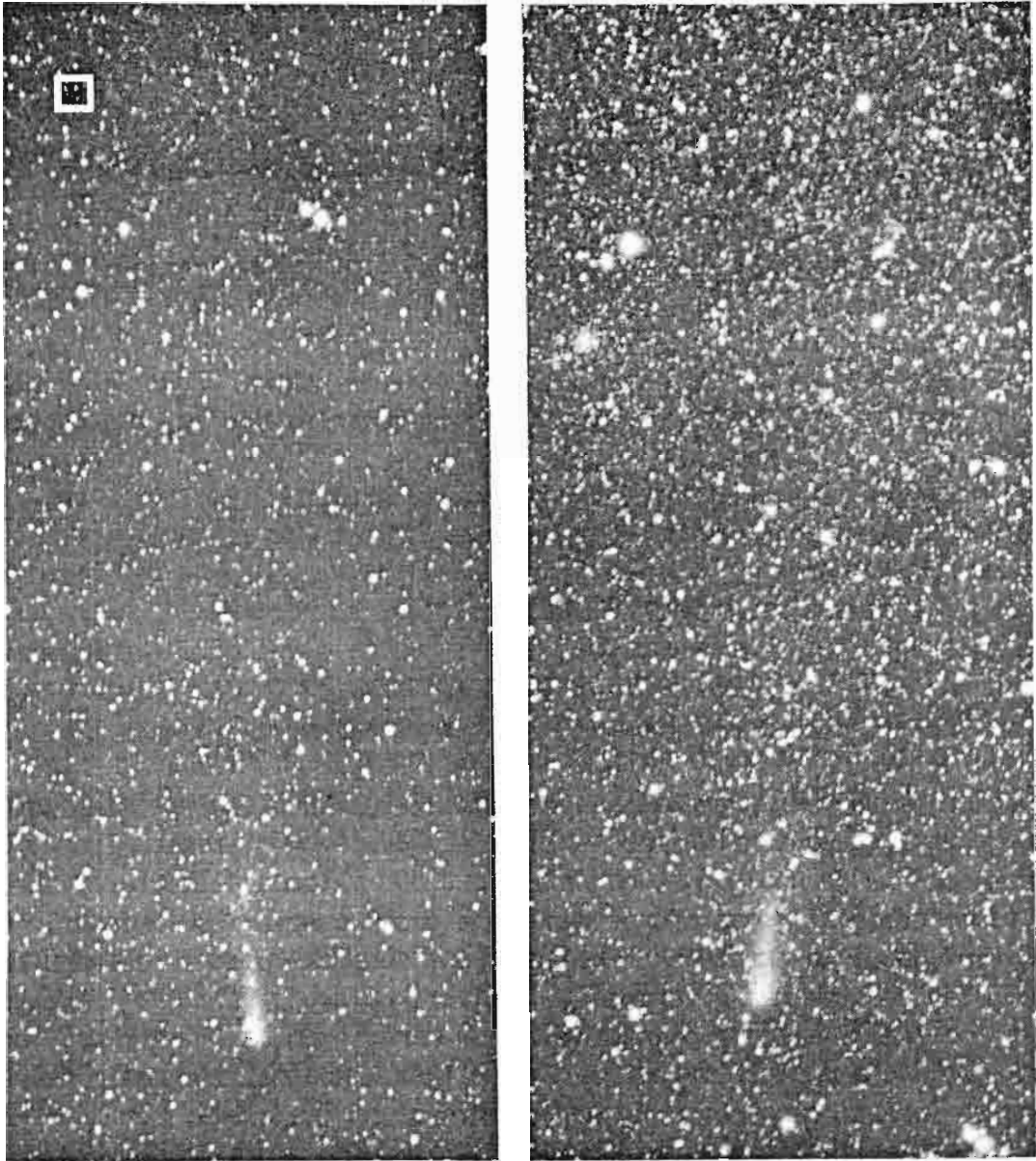
cioni uticaji bližih zvijezda uticali bi na stabilnost oblaka i usmjeravali pojedine komete ka Suncu ili van u međuzvjezdani prostor. Dalju ulogu preuzele bi planete, posebno džinovske, čije bi gravitacione sile "zarobile" komete i njihove orbite načinile kratkoperiodičnim.



Sl.1.22. Kometa West (1975n) snimljena na crvenu emulziju (Kodak 103aE), 8. marta 1976. dvostrukim astrografom Astronomske opservatorije u Sarajevu. (Fotografija: M.Stupar, Astronomska opservatrija, Sarajevo).

Dolazak Halley-eve komete će biti prilika da se naša saznanja o ovim tijelima znatno prošire. Krajem 1985. i početkom 1986. godine najčuvanija od periodičnih kometa biće vidljiva ponovo nakon 76 godina.

Posljednjih decenija moglo se posmatrati nekoliko sjajnijih kometa. U rano proljeće 1970. godine, jasno se golim okom vidjela sjajna Benett-ova



Sl.1.24. Kometa West snimljena 25. aprila 1976. (63 dana nakon prolaska kroz perihel). Rep komete je znatno oslabio dok je glava izražajnija. U vrhu slike je označeno mjesto gdje će se kometa naći 5.5. 1976. kada je načinjen drugi snimak (desno). Oba snimka su u crvenoj svjetlosti. (Fotografije Astronomске opservatorije u Sarajevu. Snimio M.Stupar).

kometa. 1973. godine pojavila se Kohoutekova kometa koja je otkrivena čitavih osam mjeseci prije prolaska kroz perihel. Nazivana je kometom stoljeća jer se očekivalo da će krajem 1973. godine dostići neviden sjaj i razmjere na nebu. Prognoze su se, na žalost, izjalovile. Kometa se mogla opaziti golim okom i rep joj je bio dosta dug, ali sjaj ni približno nije bio onako visok kako se mislilo. Pretpostavlja se da je uzrok tome bila mala količina prašine i gasova u sastavu ove komete, pa tako sunčeva toplina nije imala na šta da djeluje i doprinese porastu sjaja. Ipak će ova kometa ostati zabilježena u historiji astronomije kao jedan od najdetaljnije izučenih objekata ove vrste.

Nesumnjivo da je najsajjnija kometa u zadnjih dvadesetak godina bila kometa "West (1975n)" koja se u proljeće 1976. godine, mogla posmatrati prostim okom na istočnom horizontu, neposredno prije izlaska Sunca. Kometu je otkrio Richard M. West, 5. novembra 1975. godine, na ploči snimljenoj 24. septembra, metarskom Šmit kamerom Evropske Južne opservatorije (European Southern Observatory - ESO), La Silla, Čile.

U perihelu je bila 25. februara 1976. godine, i kako je već rečeno, bila je vidljiva prostim okom. U to vrijeme rep je imao dužinu preko  $30^{\circ}$ . Skoro mjesec i po dana poslije prolaza kroz perihel mogla se vidjeti golim okom i kretala se kroz sazviježda Equuleus i Delphinus.

Za ovu kometu su karakteristične još dvije činjenice: Prvo, kometa West je bila dnevna kometa, jedna od četiri dnevne komete posmatrane u ovom vijeku, i drugo, kod nje je posmatrano cijepanje jezgra i to na četiri dijela, što je rijetka pojava u svijetu kometa. Priloženi snimci, načinjeni na Astro-nomskoj opservatoriji u Sarajevu, najbolje svjedoče o veličini ove komete.

## 1.8 J U P I T E R

Jupiter je najveća planeta. Ima prečnik 13 puta veći od prečnika Zemlje. Masa mu je veća od zajedničke mase svih tijela Sunčevog sistema, izuzev Sunca. Prosječna mu je udaljenost od Zemlje oko 800 miliona kilometara. Oko ose rotira veoma brzo, i jedan njegov dan traje oko 9 časova i 50 minuta. Ovaj podatak se odnosi na ekvatorske oblasti, dok zone oko polova rotiraju nešto sporije. Taj podatak nam govori da je Jupiter, po svojoj fizičkoj strukturi, različit od Zemlji sličnih planeta kakve su Mars, Venera i Merkur. Jedan obilazak oko Sunca Jupiter izvrši za 12 zemaljskih godina. Već malim teleskopom možemo uočiti osnovne oblike njegovih spoljnih dijelova. To je serija paralelnih svijetlih i tamnih traka u kojima dominiraju plavičasti, smeđi i narandžasti tonovi.

Takode se opažaju tamne i svijetle pjegice a najveća od njih je poznata kao Velika crvena pjega. Dugogodišnja teleskopska posmatranja pokazala su postojanje snažnih strujanja u atmosferi ove džinovske planete. Direktna ispitivanja ove planete i njenih satelita počela su u decembru 1973. godine, kada je blizu nje prošla letjelica "Pioneer 10", a godinu dana kasnije i

bliznac ovog međuplanetarnog broda, "Pioneer 11". Ove letjelice su posjedovale skromne uređaje, koji su nam ipak omogućili znatno proširenje znanja o Jupiteru. Prava revolucija u istraživanju nastala je 1979. godine, slanjem letjelica "Voyager 1" i "Voyager 2", koje su u razmaku od 4 mjeseca prošle pored Jupitera, i poslale ogroman broj snimaka visoke rezolucije.



Sl.1.25. Izgled Jupitera u ljubičastoj svjetlosti kako ga je snimila kamera "Voyager-a 1". U momentu snimanja letjelica se nalazila na udaljenosti od 7.8 miliona kilometara. Jasno se uočavaju svi osnovni pojasevi i trake na Jupiteru, te poznate forme, kao što su Velika crvena pjega, bijele pjege, i slično.

Primljeni podaci pokazali su da je Jupiter veoma aktivan svijet, u kome dominiraju atmosferska strujanja ogromnih razmjera. Velika crvena pjega poznata je već tri stoljeća. Najnoviji podaci govore da ona rotira poput uragan-skih vrtloga. Ova ovalna struktura viša je od svoje okoline nekih desetak kilometara, i za nekih desetak stepeni hladnija.

Snimci pokazuju da je pjega zaista crvena. Pretpostavlja se da ta boja potiče od fosfora. Naime, vodonik i helijum, koji su glavni sastojci Jupiterove atmosfere, u osnovi su prozračni, i tek u veoma debelom sloju postaju blijedo plavičasti. Odakle dolazi fosfor, ili neki drugi uzrok crvene boje, za sada nije poznato. Moguće je, takođe, da se u specijalnim uslovima, koji postoje u zoni pjege, hemijski uzročnik obojenja stvara nekim kompleksnim procesima, u kojima učestvuje i energija Sunca.





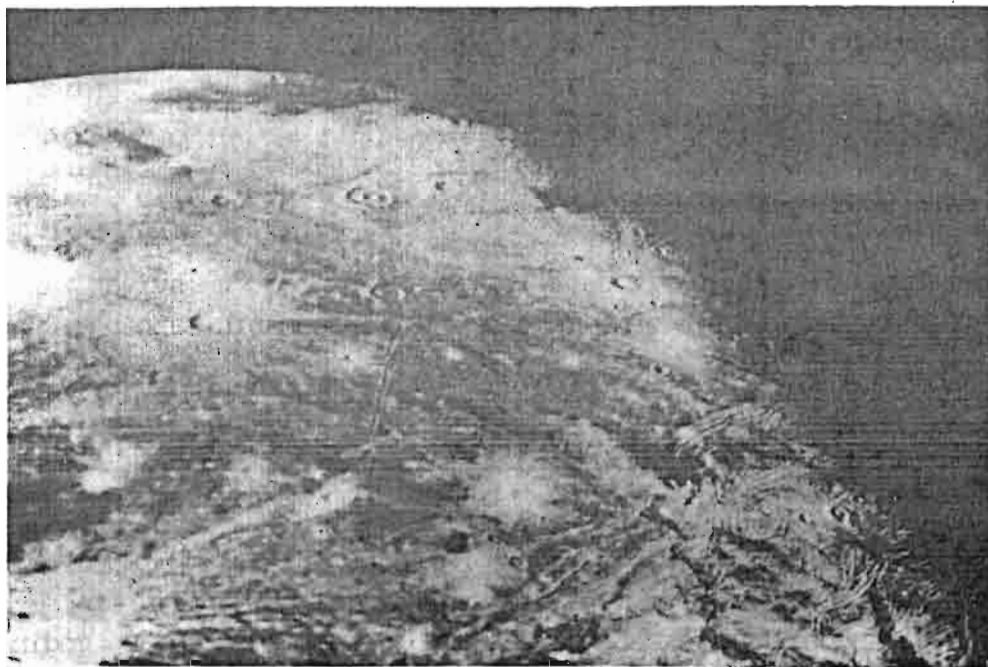
Sl.1.26. Velika crvena pjega snimljena iz neposredne blizine pomoću uredaja međuplanetarne stanice "Voyager 1". Jasno se vidi kretanje materije oko centralne pjege.

Što se tiče pretpostavki o unutrašnjoj građi ove planete one se svode na postojanje tankog omotača (atmosfera), građenog uglavnom od vodonika i helijuma, ispod kojeg se proteže debeli sloj metalnog vodonika. Centralno jezgro trebalo bi biti građeno od sledenog silicijuma.

Tokom misije letjelica "Voyager" utvrđeno je da Jupiter posjeduje prsten, koji je mnogo tanji od Saturnovog, i zbog slabog sjaja sa Zemlje ga nije moguće opaziti. Jupiter posjeduje moćno magnetno polje koje je, u posebnoj interakciji sa plazmom izbačenom od strane vulkana na satelitu Io.

Planeta Jupiter ima 15 (do sada otkrivenih) satelita. Četiri najveća su poznata kao Galilejevi sateliti, jer ih je otkrio Galilej svojim prvim pogledom kroz teleskop. To su Kalisto, Ganimed, Evropa i Io. Kalisto ima prečnik 4820 km, i gustinu  $1.81 \text{ gr/cm}^3$ . Njegovom površinom dominiraju krateri nastali udarima. Gotovo da nema dijela površine koji nije prekriven nekim kraterom. Jedina mjesta gdje ih ima nešto manje, su oblasti u blizini središnjih dijelova velikih prstenastih struktura, koje su najvjerojatnije nastale udarima još većih tijela. Krateri su ravniji nego krateri opaženi kod Zemlji sličnih planeta. Površinska temperatura na Kalistu iznosi nekih  $150^\circ\text{K}$ , i on je očigledno u smrznutom stanju, barem u površinskoj zoni.

Ganimed. najveći satelit Jupiterovog sistema. ima neke karakteristike koje su opažene na Kalistu. Sa prečnikom od 5276 km. on je gigant među satelitima Sunčevog sistema. Pored kratera na njemu se zapažaju i ravnije oblasti uporedljive sa Mjesečevim "morima". Na fotografijama se opaža veliki broj svijetlih oblasti, oko nekih kratera, koje su očigledno mladog nastanka i vjerovatno tektonskog porijekla. Na Ganimedu su, takode, opaženi neobični paralelni snopovi pruga koje nalikuju "ogrebotinama", i prostiru se hiljadama kilometara preko diska satelita. Starost i porijeklo ovih "ogrebotina", na Ganimedovoj površini, nisu sasvim razjašnjeni. Nadeni su primjeri kratera koji su očigledno nastali kasnije od tih pruga, a, takode, i primjeri pruga koje prelaze preko ranije formiranih kratera. Krateri na Ganimedu su slični onima opaženim na Kalistu.



Sl.1.27. Jupiterov najveći satelit Ganimed, snimljen sa udaljenosti od 250 000 kilometara. Vidi se veći broj kratera, te neobične "pruge", čije porijeklo još nije razjašnjeno.

Treći veliki satelit Jupitera, Evropa, ima prečnik 3126 km. Njegov neobičan izgled odmah je skrenuo pažnju naučnika. Čitava površina Evrope prekrivena je mrežom pruga tamnije boje. Pruge podsjećaju na pukotine u ledenoj kori. Obzirom da snimci Evrope, zbog njenog položaja u odnosu na letjelicu, nisu dobijeni sa visokom rezolucijom, to na fotografijama nije moguće zapaziti finije detalje. Pažljivija analiza snimaka pokazuje postojanje kratera 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. On u sebi sadrži kombinaciju snažne vulkanske aktivnosti, neobičnih hemijskih procesa, i veoma kompleksne interakcije sa magnetosferom Jupitera. Ono što se najprije uočava kod ovog satelita je narandžasto crvena boja koja dominira i potiče od sumpora. Takođe se primjećuje potpuno odsustvo udarnih kratera, zrakastih kratera, i, kratera uopšte. Njegovi pejzaži su, manje-više vulkanski. Na snimcima sa visokom rezolucijom, gdje se uočavaju detalji manji od jednog kilometra, veoma se jasno vide vulkanska grotla i potoci lave. Tokom samog snimanja opažene su vulkanske erupcije.

Porijeklo unutrašnje energije, koju Io očigledno posjeduje, zasada je još nepoznato. Neki proračuni pokazuju da radioaktivnim raspadanjem nije moguće postići takvu energiju. Predloženi su novi mehanizmi nastanka te energije, koji se baziraju na snažnom uticaju Jupitera, koji izaziva plimske pojave i, takođe se, u igru ubacuje i Jupiterova magnetosfera. Plazma, koju izbacuju vulkani na Io-u, može biti pod uticajem snažnog magnetnog polja matične planete. Neka razmatranja ukazuju da bi se takvim mehanizmom moglo generisati i po 600-to kilovolti, 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 je, nesumnjivo, svijet za sebe. U narednim decenijama omogućiće nam znatno proširenje naših saznanja o nastanku i razvoju Sunčevog sistema kao cjeline.

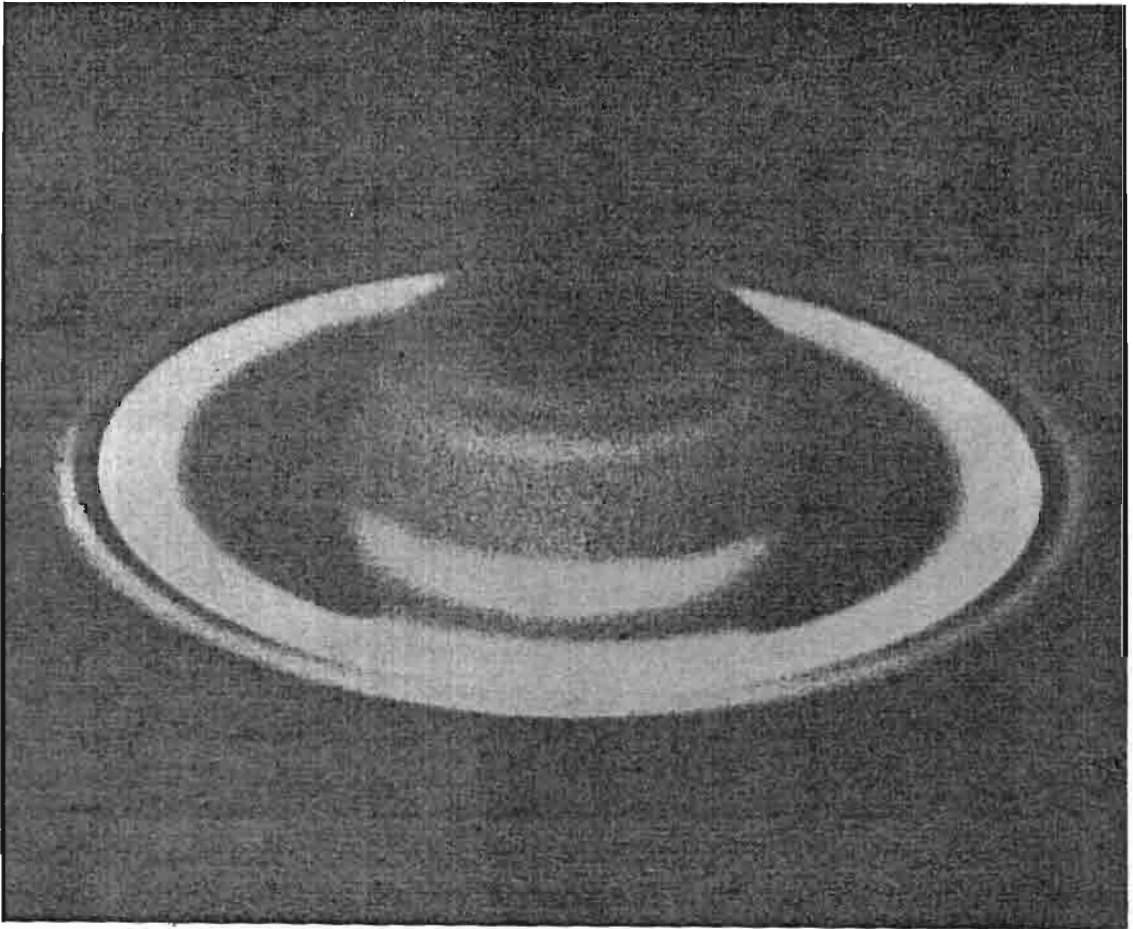
## 1.9 SATURN

Ova planeta je po mnogim svojim osobinama slična Jupiteru. Ona, takođe, pripada grupi gasovitih džinova kakvi su Jupiter, Uran i Neptun. Prečnik ove planete 9 puta prelazi prečnik Zemlje, a period rotacije mu iznosi oko 10 časova. Za jedan obilazak oko Sunca Saturnu je potrebno oko 30 godina. Ono što pri prvom pogledu na ovu planetu privlači pažnju je njegov prsten. Otkrio ga je, još, Galilej, ali mu slaba moć razdvajanja teleskopa nije dozvolila da mu nazre pravi oblik. Savremeni, čak i veoma mali teleskopi, dozvoljavaju da se prsten lako opazi.

Nakon prolaza kroz svijet Jupitera, letjelice "Voyager 1 i 2", prošle su i pored Saturna i njegovih brojnih satelita, na svom putu ka Uranu. Saznanja o ovim dalekim svjetovima time su u mnogome proširena. Na Saturnu, kao i kod Jupitera, možemo posmatrati samo vanjske slojeve atmosfere i procese koji se u njima dešavaju. Vodonik i helijum dominiraju kao najprisutniji elementi. Razna obojenja, koja se na snimcima mogu posmatrati, potiču od veoma malih količina ugljika, sumpora i fosfora, dok bjeličaste zone potiču od kapljica amonijaka. Utvrđeno je da Saturn zrači više topline nego što je prima od Sunca, što ukazuje na postojanje unutrašnjih izvora energije. Vjetrovi koji



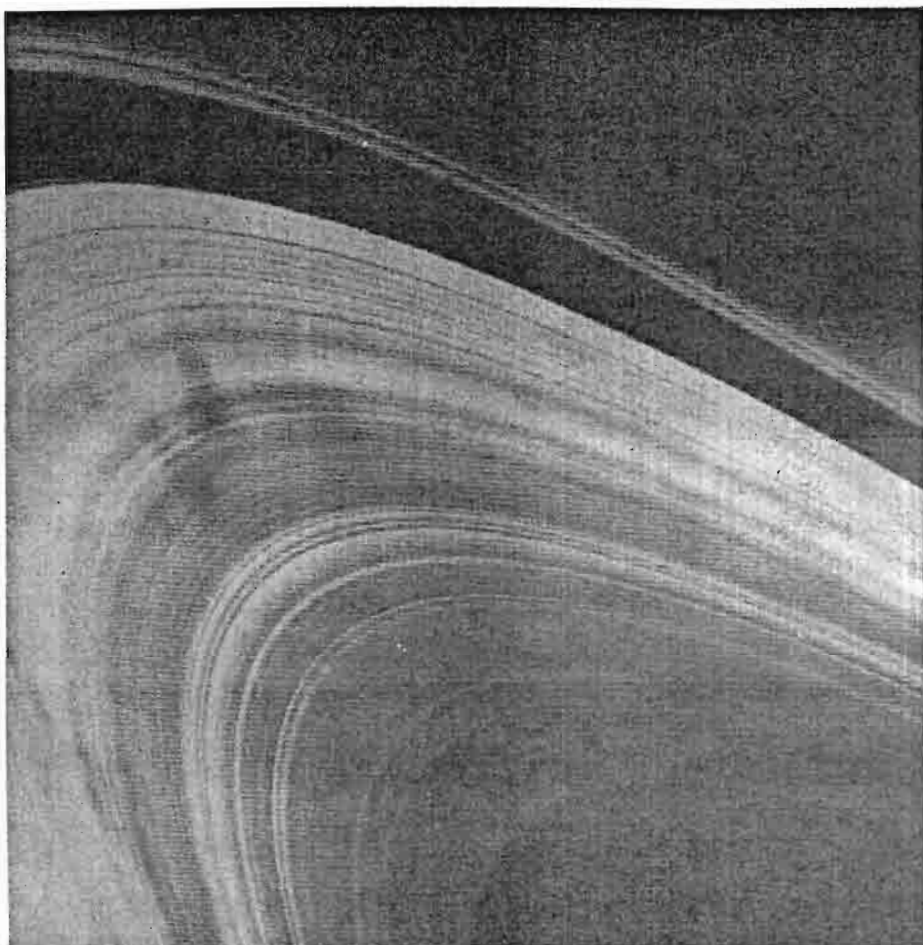
nose mase gasova, kod Saturna, duvaju uglavnom u istom smjeru, i samo u nekim slučajevima su opažena suprotna strujanja. Na velikoj planeti dominira ekvatorijalni mlaz koji duva ka istoku, i ima brzinu od 500 m/s.



Sl.1.28. Saturn  
(Fotografija Lick opservatorije)

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

Teleskopska era izučavanja Saturnovog prstena, omogućila nam je da saznamo da se on sastoji iz tri posebna prstena. Prsten nazvan "A" ima širinu od 15 200 km, a sadrži 200 km široku tamnu pukotinu nazvanu Encke-ova. Između prstenova "A" i "B" nalazi se poznata Cassinijeva linija široka 3500 kilometara. Dugo se smatralo da su ove tamne linije, koje razdvajaju prstenove, mjesta koja su prazna, ili gotovo prazna. Snimci iz neposredne blizine pokazali su postojanje ogromnog broja pojedinačnih prstenova. Cassinijeva



Sl.1.29. Detalji prstena. Snimak načinila letjelica "Voyager 2" 1981. godine. Snimak je visoke rezolucije a pretstavljen je dio a prstena B, širine nekoliko hiljada kilometera.

pukotina se pokazala kao mjesto koje, takode, sadrži kompleksan niz prstenova, koji su slabijeg sjaja. Na "B" prstenu otkriven je veći broj tamnih mjesta koja se kreću tako, da im se struktura ne narušava, što bi vodilo netačnom zaključku da je prsten čvrsto tijelo. Naime, zbog rotacije pojedinih dijelova prstena te strukture, nužno, ne bi mogle dugo postojati, jer bi ih različite brzine postepeno pomješale sa drugim česticama, koje su u okolini. Pretpostavlja se da su ova zatamnjenja, nekim elektromagnetnim interakcijama, vezana za planetu. Neka od mjerenja su pokazala da se dimenzije pojedinih "čestica" koje grade prstenove, kreću od desetak pa do više stotina metara. Uočeno je, da su prstenovi u gravitacionim vezama sa nekim od Saturnovih

satelita; ali je, takođe, postalo jasno da se, samo, jednostavnim gravitacionim mehanizmima ne mogu opisati sve pojave koje su opažene.

Od 17 do sada otkrivenih satelita, pet je otkriveno pomoću međuplanetarnih stanica. Među njima svojom veličinom (prečnik 5150 km) dominira Titan. Poslije Ganimeda, (i vjerovatno Neptunovog Tritona), to je jedan od najvećih satelita u Sunčevom sistemu. On je ujedno jedini do sada poznati satelit koji posjeduje vlastitu atmosferu. Prema podacima o gustini (1.9 g/cm<sup>3</sup>), on se sastoji od: 50% stjenovitog materijala, zatim mješavine vode i leda (44%), te 6% metana. Atmosfera Titana je građena uglavnom od vodonika koga ima 85%, 12% su argon i metan a 3% su neke kompleksne organske molekule. Temperatura na površini Titana iznosi 95<sup>o</sup>K, a pritisak je 1.6 puta veći nego na površini Zemlje.

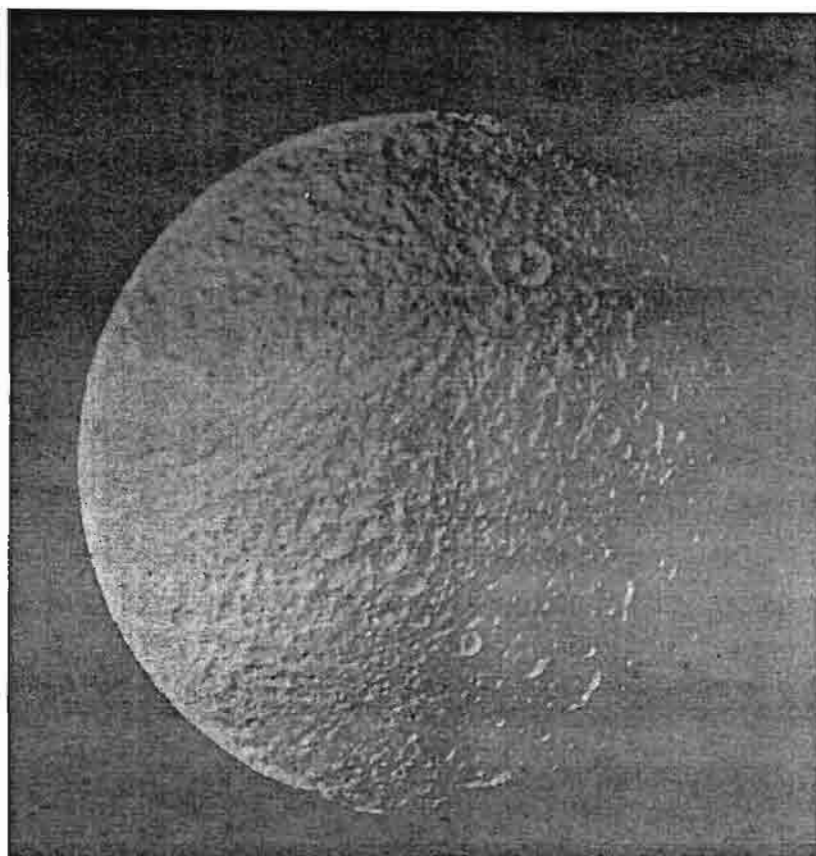
Površinu Titana nije moguće vidjeti zbog jakog "smoga" koga sačinjavaju, najvjerovatnije, organske molekule, poput propana, etilena, acetilena, cijanogena i sl.

Japetus predstavlja neobično tijelo u svijetu satelita. Još su klasična astronomska posmatranja pokazala da mu se sjaj mijenja, što se moglo objasniti jedino različitim reflektivnim osobinama njegove površine. Snimci Voyager-a dokazali su ove pretpostavke. Više od polovine površine Japetusa prekriveno je tamnim, gotovo crnim, materijalom. Satelit sadrži dosta kratera i to, na obje strane, i tamnoj i svjetloj, podjednako. Porijeklo tamnog materijala, za sada, je nejasno. Teško je objasniti kakav bi proces mogao da vodi tom "obojeanju". Neki pretpostavljaju da bi metan, pod uticajem ultraljubičastog zračenja, mogao da proizvodi ugljovodonikova jedinjenja koja su tamne boje. Sljedeći interesantan satelit je Hiperion koji ima izdužen oblik, i izgleda sličan pretpostavljenom izgledu većine asteroida. Prekriven je kraterima.

Rea ima površinu koja je prekrivena ogromnim brojem kratera. Neki su, očigledno, veoma stari. Na Rei se uočavaju i velike površine bijele boje, koje bi mogle biti naslage "snijega".

Diona je nešto manja nego Rea i, takođe je, bogata kraterima. Kao i većina drugih Saturnovih satelita, Diona ima hemisfersku asimetriju. Jedna strana ima veći albedo od druge. Veći krateri, i gušće zbijeni, pripadaju ranijem periodu udara materije o površinu Dione. Mladi tereni sadrže manje kratare. Ovaj satelit je karakterističan i po velikim pukotinam od kojih se najveća, Palatine Chasma, pruža do dužine jedne četvrtine prečnika Dione.

Satelit Tetis ima visok albedo. On je drugi po veličini u sistemu Saturnovih satelita. Njegovim izgledom dominira mamutski krater prečnika 400 km. Nastao je u pradavna vremena udarom u ovaj mali satelit. Tetis, takođe, posjeduje još jedan impresivan geološki oblik. To je pukotina koja se prostire gotovo tri četvrtine njegovog obima. Naučnici smatraju da je nastala pucanjem vanjske kore satelita, prilikom hlađenja, tokom njegove rane istorije.



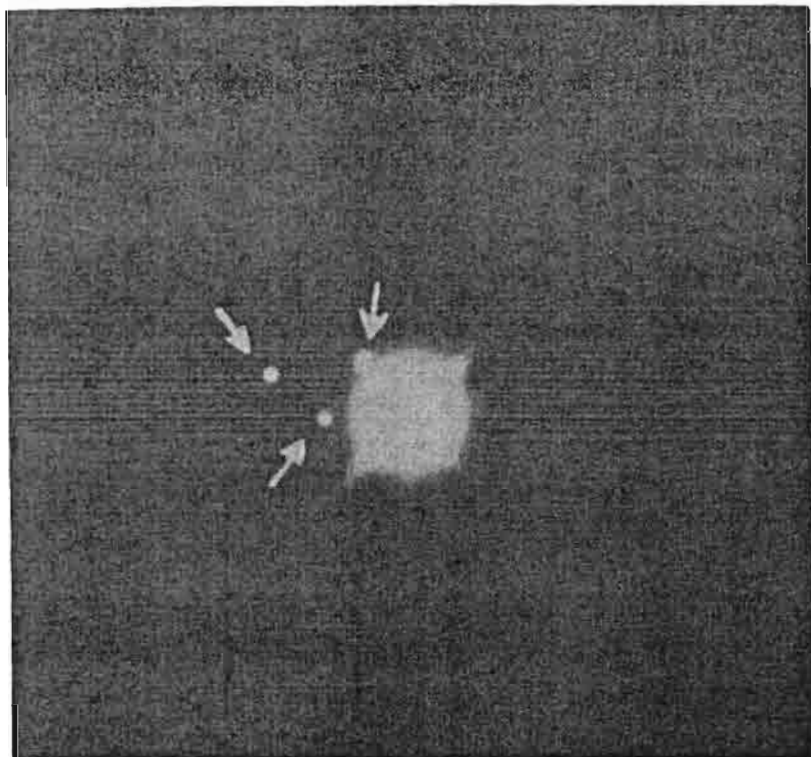
Sl.1.30. Tethys, Saturnov satelit, snimljen sa udaljenosti od oko 200 000 kilometara. Ogroman broj kratera i pukotine ukazuju na brojne udare meteorske materije, te na procese stezanja spoljašnje kore.

Po najvećem albedu (od upadne sunčeve svjetlosti, reflektuje se 100%), među Saturnovim satelitima, ističe se Enceladus. Na njemu se uočavaju tri vrste terena. Jedni su prekriveni umjerenim brojem kratera, drugi ih imaju manje, a postoje ravnice prekrivene prugama koje liče na "ogrebotine". Starost tih "izgrebanih" ravnica nije veća od 100 miliona godina, što je prava mladost, u poređenju sa površinama pojedinih satelita koje su se formirale prije više milijardi godina. Pretpostavlja se, takode, da Enceladus ima aktivan vulkanski svijet, poput onoga na Io-u. Ovi vulkani bi trebali umjesto sumpora da izbacuju vodu.

Mimas je u prošlosti preživio udar od koga bi i veće tijelo bilo ugroženo. Ostatak te katastrofe je krater čiji je prečnik ravan 1/3 prečnika samog satelita. Centralno uzvišenje u krateru je visoko 6 kilometara iznad tla. Mimas ima dosta drugih manjih kratera.

## 1.10 U R A N

Ovu planetu otkrio je Wiliam Herschel, veliki engleski astronom, pomoću 16 cm-skog reflektorskog teleskopa. To se desilo 1781. godine. Uran ima prečnik od 50 000 km i atmosferu uglavnom građenu od vodonika, helijuma i metana. 84 godine potrebno je Uranu za jedan obilazak oko Sunca, a prosječna



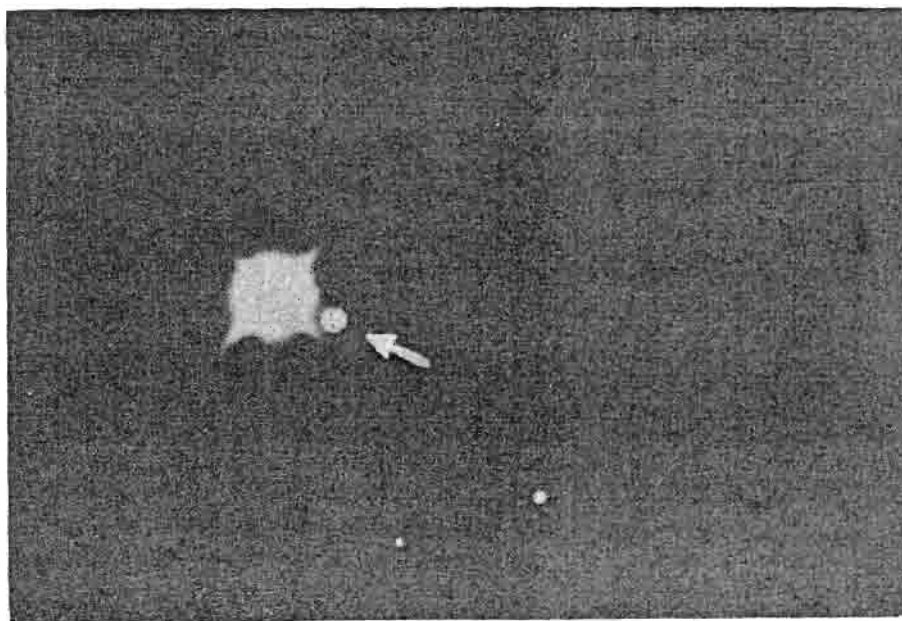
Sl.1.31. Uran sa satelitima snimljen 120-inčnim teleskopom.  
(Fotografija Lick opservatorije).

udaljenost mu je nešto ispod 3 milijarde kilometara. Obzirom na takvu udaljenost, na njemu ni najvećim teleskopima, nije moguće nazrijeti neke detalje. 1986. godine, kada letjelica "Voyager 2" prođe pored njega, astronomi će, svakako, imati mnogo više podataka. Postoje opravdane pretpostavke da Uran a i Neptun sadrže više težih elemenata, nego što je to, procentualno, slučaj sa Jupiterom ili Saturnom. To bi bila uglavnom jedinjenja silicijuma i neki metali. 1977. godine oko Urana su otkriveni prstenovi. Mjerenja su obavljena prilikom okultacije jedne zvijezde. Otkriveno je 9 prstenova slabog sjaja i zato ih nije moguće, direktno, vidjeti sa Zemlje.

Uran ima 5 satelita do sada poznatih. To su Miranda, Ariel, Umbriel, Titanija i Oberon.

### 1.11 NEPTUN

Proračuni Uranove putanje su tačno provedeni još u 19. vijeku. Oni su pokazali da postoje određena odstupanja od utvrđene staze, a to se moglo objasniti samo uticajem nekog drugog tijela. 1846. godine, francuski astronom Leverje, je izveo proračun putanje nekog hipotetskog planeta koji bi mogao izazvati opažene poremećaje u kretanju Urana. Njemački astronom Gall je, iste noći kada je primio podatke, otkrio novu planetu. Interesantno je da je engleski matematičar Adams izveo sličan proračun. Međutim, Čalis, tada kraljevski astronom na Griniču, nije otkrio Neptun jer nije raspolagao dobrim zvjezdanim kartama.



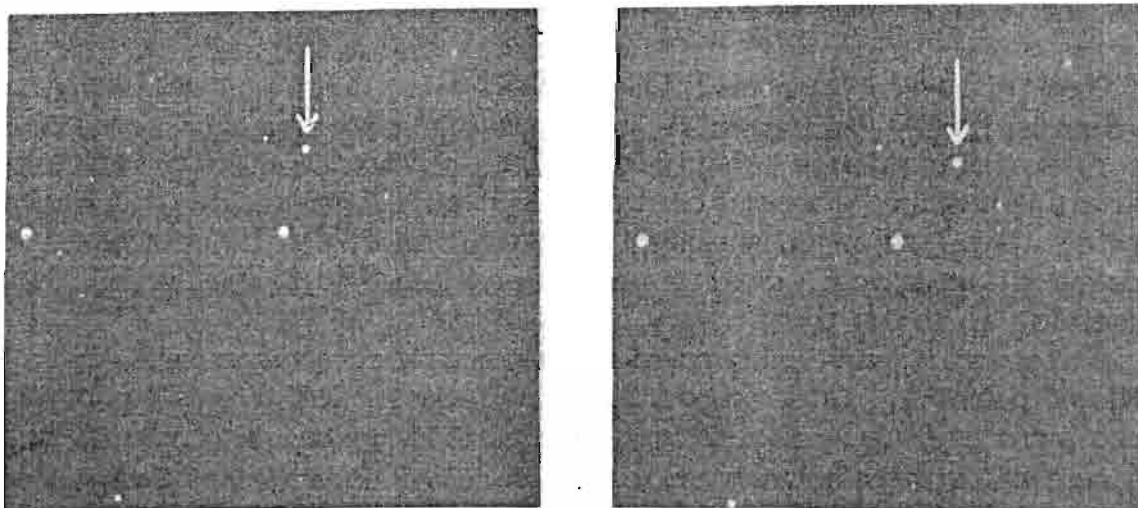
Sl.1.32. Neptun sa jednim satelitom.  
(Fotografija Lick opservatorije).

Za jedan obrt Neptunu treba 15 sati. Osa vrtnje mu je nagnuta za  $29^{\circ}$ , a oko Sunca obiđe jednom u 164 godine. Na njegovom, zelenkasto-plavom disku, gotovo je nemoguće opaziti bili kakve detalje. Spektralna ispitivanja govore o velikim količinama metana na ovoj planeti. Kretanje većeg, od dva, Neptunova satelita je retrogradno, i po tome je Triton jedan od osobnosti Sunčevog sistema. Drugi satelit, Nereida, otkriven je tek 1949. godine.



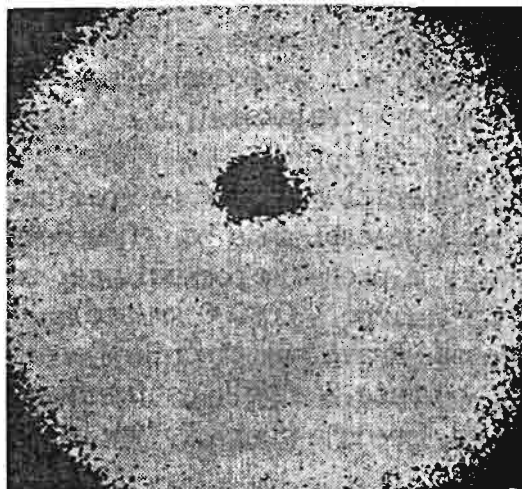
## 1.12 PLUTON

Ova posljednja od poznatih planeta, otkrivena je 1930. godine. Klaj Tombo je hiljade časova proveo pored blink komparatora (uredaja kojim se vrši kompariranje fotografiskih ploča neba), radeći na programu potrage za novom planetom, koji je postavio Persval Lovel. Lovel nije dočekaio ovo otkriće, ali je njemu posvetio čitav svoj život. U momentu otkrića, Pluton se nalazio u blizini zvijezde  $\delta$  Blizanaca i bio 15-te zvjezdane veličine.



Sl.1.33. Pluton u blizini zvijzde delta Blizanaca.  
(Fotografija Lick opservatorije).

Poslije velikih vanjskih planeta, Pluton djeluje kao stranac u tom nizu. Podataka o njemu ima jako malo. Vidljivi dijametar mogao bi mu biti oko 2500



Sl.1.34. Haron, satelit Plutona. Obzirom na veliku udaljenost, ovaj se satelit vidi kao malo ispupčenje na zacrnjenom kružiću koji predstavlja negativ Plutonovog lika.

kilometara. Temperatura njegove površine bi se kretala oko  $-220^{\circ}\text{C}$ . Za jedan obilazak oko Sunca Plutonu treba nekih 248 godina, a ravan njegove orbite ima nagib od oko  $17^{\circ}$ .

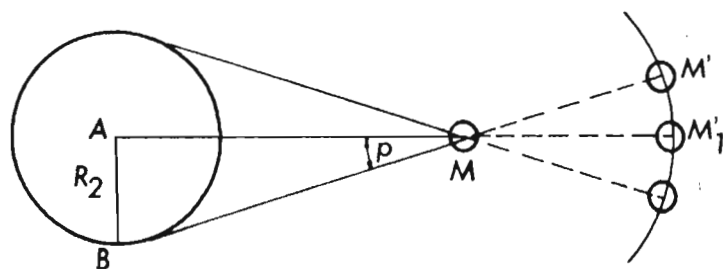
Pluton bi mogao da ima neku vrstu atmosfere. 1976. godine pomoću 4-metarskog teleskopa opservatorije Kitt Peak, otkriveno je prisustvo smrznutog metana. 1978. godine otkriven je Plutonov satelit nazvan Haron (Sl.1.34). Ima prečnik oko 800 kilometara i sa svojom planetom gradi neku vrstu dvojnog sistema.

Moguće je da i iza Plutona ima još planeta. Tragati za njima vrlo je teško jer ih je gotovo nemoguće opaziti među milionima zvijezda slabog sjaja.

### 1.13 M J E S E C

Po svojim razmjerama, ovaj jedini Zemljin prirodni satelit, spada među najkrupnije pratilce u našem planetarnom sistemu. Njegova putanja, oko naše planete, je elipsa sa malim ekscentricitetom, pa se u malim razmjerama može predstavljati kružnicom. Srednja udaljenost Mjeseca od Zemlje iznosi 384 000 kilometara, 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. Tako se dolazi do vrijednosti za veličinu geocentrične parakse koja, u stvari, predstavlja ugao pod kojim posmatrač sa Mjeseca vidi poluprečnik Zemlje. (Slika 1.35).



Sl.1.35. Paralaksa

Na slici su:

- M = Mjesec
- M' = Projekcija Mjeseca na nebu gledana iz tačke B
- M' - M = Projekcija Mjeseca
- p = Geocentrična Paralaksa

U novije vrijeme, ova udaljenost može se mjeriti i na druge načine. Dovoljno je uputiti radio signal koji se, poslije odbijanja od Mjesečevu površinu vraća u prijemnu stanicu. Vrijeme koje je proteklo pomnoži se sa brzinom prostiranja elektromagnetnih talasa (približno 300 000 km/sec), i podijeli sa dva. Tako se dobije njgova udaljenost. Pravi poluprečnik Mjeseca iznosi oko 3476 km, a masa mu je 81 puta manja od mase Zemlje. Gustina našeg satelita kreće se oko  $3.5 \text{ g/cm}^3$ . To je, naravno, srednja gustina, jer mi ne znamo kako je građena njegova unutrašnjost.



Poznato je da Mjesec, svakodnevno, mijenja svoj opšti izgled preko svojih faza. Najpodesniji trenuci za njegovo posmatranje su do prve četvrti, i poslije druge četvrti. U vrijeme punog Mjeseca, sunčeve zrake padaju normalno na njegovu površinu i zbog toga, nema sjenki koje nam omogućavaju da uočimo karakteristične detalje njegove površine.

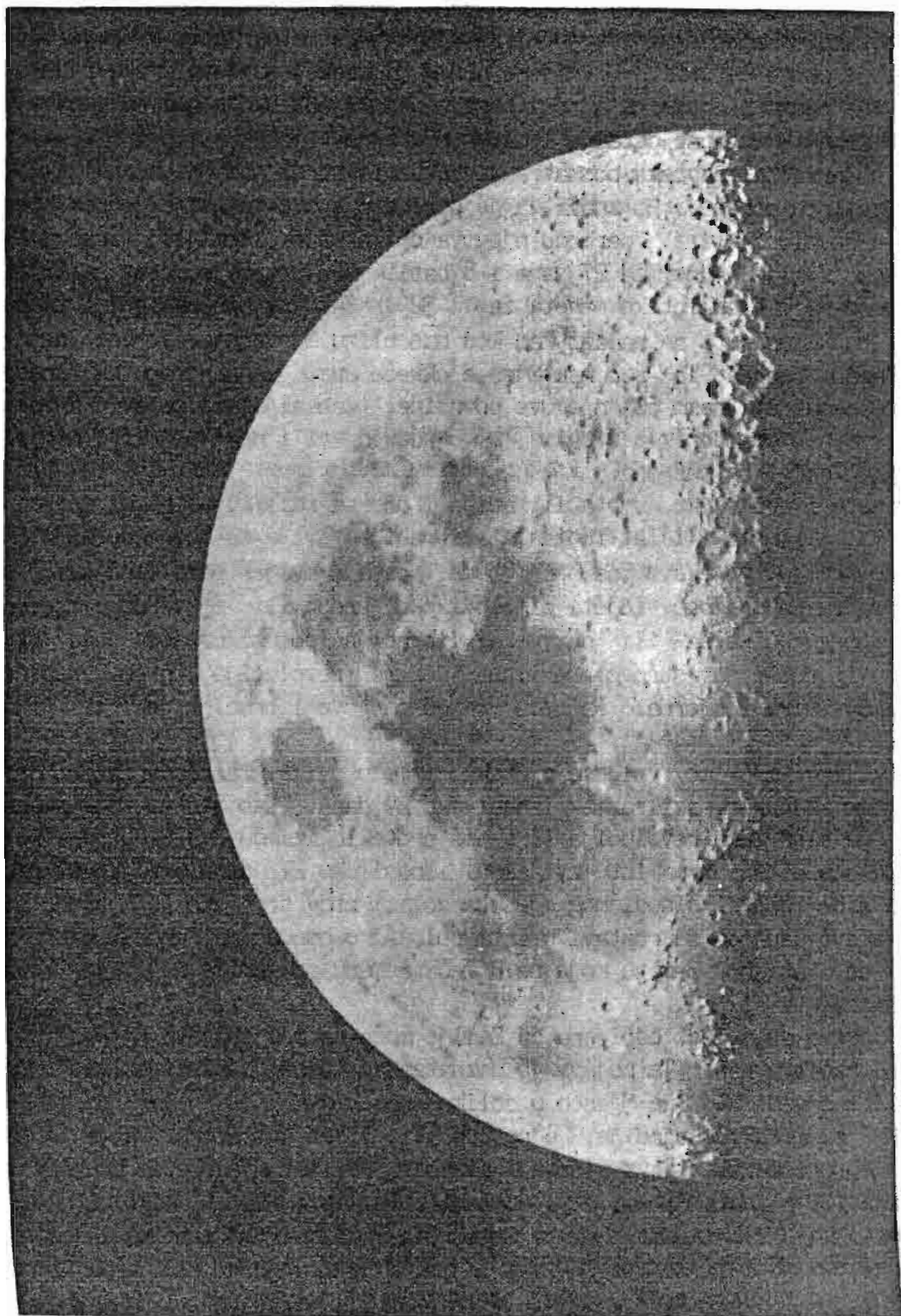
Već prva teleskopska posmatranja pokazala su da nam Mjesec uvijek okreće jednu te istu stranu. To znači da je period njegove rotacije jednak periodu njegove revolucije (tj. periodu njegova obilaska oko Zemlje). Inače, Mjesec obide oko Zemlje jednom za 27 dana i 8 sati. Osa rotacije našeg satelita je, u odnosu na osu ekliptike nageta za  $1^{\circ} 32'$ . Zato se nebeski pol, za posmatrača na Mjesecu, ne nalazi kao kod nas blizu Sjevernjače, već negdje u saviježđu Zmaja. To što nam Mjesec okreće 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 površine Zemljinog susjeda.

Postoji nekoliko vrsta libracije i one se razlikuju po uzrocima svog nastanka. Širinska ili latitudinalna libracija javlja se zbog kretanja Mjeseca oko Zemlje. Njegova osa, pri tome, ostaje uvijek paralelna samoj sebi, tako da se nekad mogu vidjeti dijelovi oko južnog ili sjevernog Mjesečevog pola. Longitudinalna ili dužinska libracija dolazi usljed toga što je Mjesečeva rotacija strogo pravilna, dok je revolucija, prema Keplerovim zakonima, neravnomjerna. Najveća vrijednost ove libracije je  $7^{\circ} 54'$  lunarne dužine.

Ukoliko mjerimo vrijeme proteklo između dvije uzastopne faze Mjeseca, saznaćemo da vremenski razmak iznosi oko 29 dana. Kao što je već pomenuto, Mjesečeva siderička revolucija (vrijeme proteklo između dva uzastopna položaja Mjeseca u odnosu na istu zvijezdu) iznosi oko 27 dana. Do ove razlike između sideričnog i sinodičnog mjeseca dolazi zbog toga što je Mjesecu potrebno oko dva dana da se postavi u isti položaj u odnosu na Sunce. On praktično treba da "stigne" Zemlju koja se u međuvremenu pomjerila na svojoj putanji oko Sunca.

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 vidi kada je Mjesec u obliku srpa.

Naš svemirski susjed je, u potpunosti, lišen atmosfere. Da je to zaista tako, govore okultacije zvijezda i planeta. Pri tim mjesečevim prekrivanjima zvijezda ili planeta nikada nisu opaženi bilo kakvi efekti, koji bi ukazivali na postojanje atmosfere. Pored toga, do ovog zaključka se može doći i na drugi način. Brzina odvajanja koja je potrebna da neko tijelo napusti gravitaciono polje, za Mjesec se kreće oko 2.4 km/sec. Zbog male kritične brzine, molekuli i atomi mjesečeve atmosfere (ukoliko je ona, uopšte, nekada postojala) mogli bi lako da se rasprše i napuste mjesečevu okolinu.

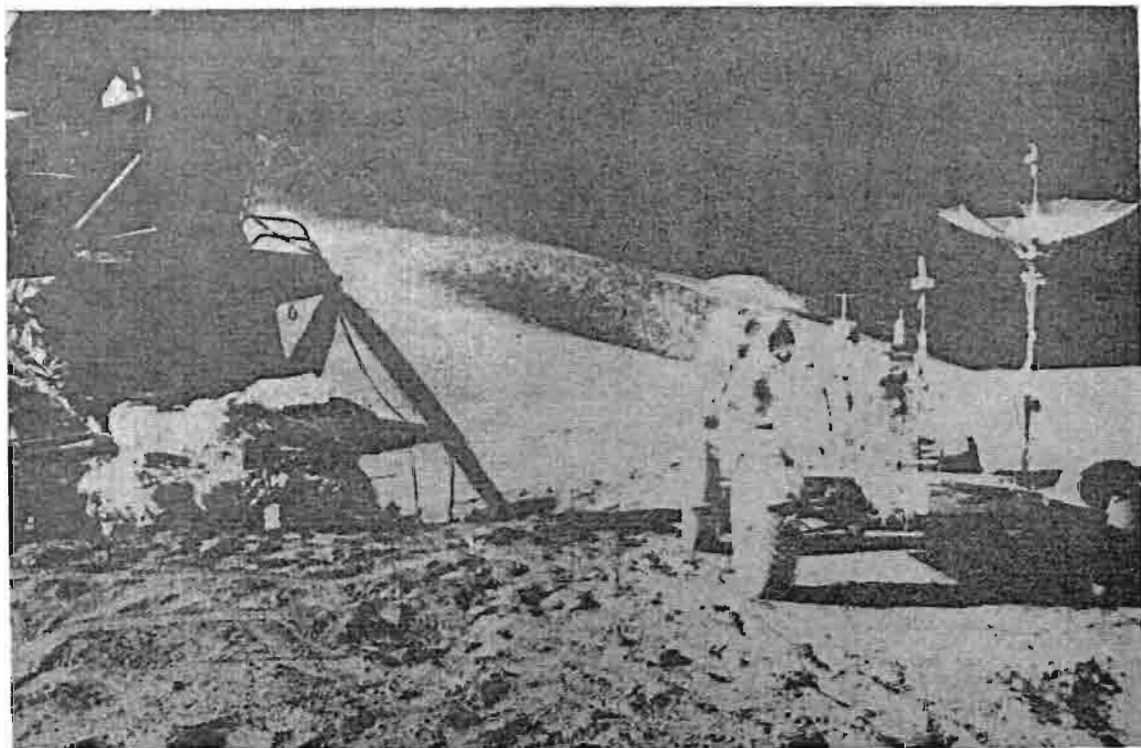


Sl.1.36. Mjesec u prvoj četvrti.  
(Snimak: M.Stupar, Astronomska opservatorija, Sarajevo).

### 1.13.1 Površina Mjeseca i njene karakteristike

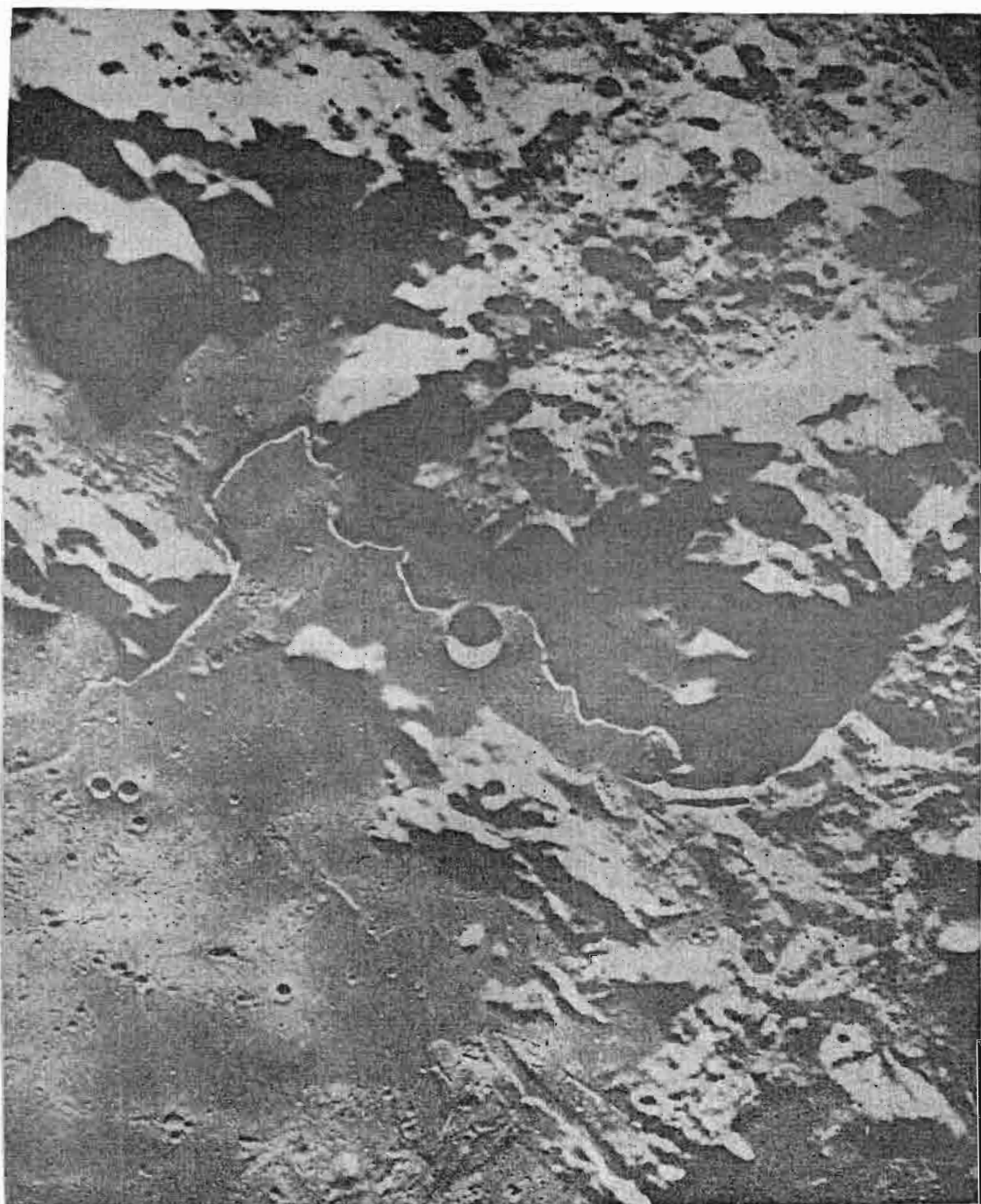
Golim okom na Mjesecu se ne može vidjeti ništa sem tamnih i svijetlih površina. Već običan durbin dozvoljava nam da upoznamo oblike njegovog reljefa. Velike tamne mrlje raznih oblika, posmatrači iz prošlih vjekova, su nazvali morima. Nazivi kao što su: More kiša, More vedrine, Okean oluja i drugi, zadržali su se do danas. Mjesečeva mora su velike ravnije površine. Neka su gotovo kružnog oblika, kao što je More kiša, dok su druga prilično nepravilna.

Mjesečeva mora izgledaju ravna kada se posmatraju teleskopom. Njihova površina je izbrazdana mnogobrojnim sitnim kraterima i pukotinama. Ono što na Mjesecu naročito privlači pažnju su poznati krateri. Prstenaste planine imaju



Sl.1.37. Astronauti Apola 15 sa mjesečevim roverom.  
(Fotografija NASA).

najrazličitije prečnike, a kod nekih iznose i više od 200 km. Za neke kratere je karakteristično postojanje stepenastih slojeva koji se, postepeno, spuštaju ka unutrašnjosti. Drugi se, opet, ističu po jednom ili više brežuljaka u samom središtu. Zidovi kratera su različitih visina, a kod nekih su gotovo sramnjeni.



Sl.1.38. Krater Hadley na snimku astronauta sa Apola 15.  
(Fotografija NASA).

Za vrijeme punog Mjeseca, mogu se primijetiti veoma duge svijetle zrakaste pruge koje se pružaju, iz pojedinih kratera, na ogromne udaljenosti. Po tome se naročito ističu krateri Tiho i Kopernik. Priroda ovih svijetlih zraka još nije dovoljno poznata, ali je nesumnjivo da one imaju vezu sa kraterima iz kojih se pružaju.



Sl.1.39. Krater Aristarh, njegov susjed Herodotus i dolina Schroter.  
(Fotografija NASA).

Pitanje nastanka kratera je prilično složeno. Već davno su se javile dvije osnovne hipoteze. Prema jednoj, oni su proizašli iz vulkanskih erupcija još u ranom stadiju razvoja Mjeseca. Činjenica da se oni prilično razlikuju



od zemaljskih vulkanskih kratera mogla bi se objasniti različitim uslovima nastanka. Po drugima, krateri su proistekli pri udarima meteora. Pošto Mjesec nije zaštićen atmosferom, ova pojava se morala dešavati često. Karakteristične formacije nekih kratera idu u prilog tvrdnji da su bar ti nastali vulkanski. Istraživanja satelita oko Jupitera i Saturna ukazuju na raširenu pojavu kratera u čitavom Sunčevom sistemu. Dosadašnja istraživanja ukazuju da je veći dio kratera morao nastati udarima u toku rane istorije planetarnog sistema. Prema tome, ni Mjesec ne bi trebao biti izuzetak.



Sl.1.40. Astronaut J.B. Ervin (Aplo 15) obavlja eksperimente na površini Mjeseca. (Fotografija NASA).

Mjesec se obično predstavlja kao negostoljubiv i po spoljnoj aktivnosti mrtav svijet. Međutim, neka posmatranja koja je vršio Kozirev, pokazala su postojanje nekih promjena vulkanskog karakreta u krateru Alfons. Ove promjene pokazuju da bi Mjesec, na nekim svojim dijelovima, mogao biti još uvijek aktivan.

Istraživanja našeg satelita se posljednjih godina vrše veoma uspješno pomoću automatskih stanica. Počelo je sa "Lunom 3" koja je na Zemlju poslala

prve snimke nevidljive strane Mjeseca. Kasniji snimci "Luna" i "Lunar orbitera" su pokazali da postoji opšta sličnost između dvije Mjesečeve strane, samo što na nevidljivoj mora gotovo da nema i preovladavaju krateri. 21. jula 1969. godine, prvi ljudi sa Zemlje, astronauti Nil Armstrong i Edvin Oldrin, kročili su na tle jednog drugog svijeta. Tim istorijskim događajem počela su direktna istraživanja Mjeseca, kao što je ispitivanje njegovog tla u zemaljskim laboratorijama. Time Mjesec polako gubi značaj za astronomiju, i prelazi u ruke raznih drugih specijalista, kao što su, recimo, geolozi.

## 1.14 S U N C E

Sunce je središnje tijelo našeg planetarnog sistema i nama najbliža zvijezda. Zbog toga istraživanje Sunca i njegove strukture ima veliki značaj za astronomiju. Kao izvor svjetlosti i toplote, ono je još u ranom stadiju istorije čovječanstva postalo predmet obožavanja. Sunčeva božanstva se sreću kod svih starih civilizacija, ostaci tih drevnih kultova se u modifikovanom obliku mogu sresti u mnogim savremenim religijama.

### 1.14.1 Osnovni podaci o Suncu

Rastojanje od Sunca se najjednostavnije može naći pomoću paralakse neke planete ili planetoida. Paralaksa Sunca je, inače, ugao pod kojim se iz središta Sunca vidi Zemljin radius. Taj ugao iznosi oko  $8''.8$ . Poznavajući radius Zemlje nije teško pomoću trigonometrije naći udaljenost Zemlja-Sunce. Proračun daje vrijednost od 149 600 000 km. Obično se ovo rastojanje naziva astronomska jedinica (a.j.), a u astronomiji se koristi kao mjera za manju udaljenost. Astronomska jedinica je srednja udaljenost Sunca, i ona se zbog eliptičnosti Zemljine putanje mijenja. Ugaoni dijаметar Sunca se kreće oko  $32'$ , a istinski dijаметar mu je 1 390 000 km.

Masa Sunca je veoma velika i ima vrijednost  $2 \cdot 10^{33}$  grama. Poznavajući masu Sunca i njegov radius, lako možemo, pomoću odnosa masa/volumen, odrediti njegovu gustinu. Ona iznosi  $1.49 \text{ g/cm}^3$ . Gustina Zemlje je oko četiri puta veća.

Da odredimo totalnu količinu energije koju Sunce zrači, moramo poznavati vrijednost tzv. sunčeve konstante. To je ona količina energije koju prima površina jednog kvadratnog centimetra, za jednu minutu, na daljini od jedne astronomske jedinice. Pretpostavlja se da je ova površina na granici Zemljine atmosfere. Solarna konstanta može se mjeriti na razne načine, a postoje i specijalni uređaji koji se zovu piranometri i pirheliometri. Pokazuje se da sunčeva konstanta ima vrijednost od dvije kalorije/minut  $\text{cm}^2$ .

### 1.14.2 Izgled Sunca

Gledano teleskopom, 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 gasovitom stanju. To je, u stvari, sloj ispod koga prestaje prozračnost spoljašnjih dijelova Sunca. Neprekidni spektar Sunca potiče od fotosfere, a tamne apsorpcijske linije na fonu ovog neprekidnog spektra, nastaju saglasno Kirhofovom zakonu.

Pomoću većeg teleskopa lako se opaža da fotosfera ima zrnastu strukturu i da se ta zrna ili granule neprestano rađaju i nestaju. Dijametri im se kreću oko hiljadu km. Vrijeme nastanka i iščezavanja granula obično nije duže od 5 minuta. Tu se, u stvari, radi o neprekidnom strujanju hladnih i toplih slojeva gasa.

Pjege koje se pojavljuju na Suncu jedan su od osnovnih spoljašnjih vidova Sunčeve aktivnosti. Imaju nešto nižu temperaturu od svoje okoline. Srednja vrijednost temperature fotosfere je oko  $6000^{\circ}\text{C}$ . Pjege zato i izgledaju tamnije jer su za  $1000 - 1500^{\circ}\text{C}$  niže od temperature fotosfere. Mogu da se opaze i najmanjim teleskopom, a neki put veoma krupne pjege vidljive su golim okom. Pjege mogu da imaju različite oblike. U principu, kod većih, može se razlikovati tamni centralni dio koji se naziva sjenka ili umbra. Oko njega je raspoređena svjetlija vlaknasta polusjenka ili penumbra. Dijametri pjega se kreću od 1000 pa do 100 000 km. Pojavljuju se usamljene ili, češće, u grupama. Dužina života pojedinih pjega kreće se od nekoliko časova pa do nekoliko mjeseci. Pjege se obično pojavljuju na širinama većim od  $35^{\circ}$ , a gotovo ih nikada nema iznad  $40^{\circ}$  južne i sjeverne heliografske širine.

Posmatrajući pjege, lako se možemo uvjeriti da Sunce rotira. Pokazalo se da se brzina te rotacije smanjuje od ekvatora do polova, što jasno ukazuje na to da se Sunce ne vrti kao čvrsto tijelo. U ekvatorijalnim zonama, brzina Sunca je takva da one zarotiraju za oko 25 dana. Pošto se pjege u polarnim zonama ne pojavljuju, brzina rotacije tih dijelova je određena pomoću Doplerovog efekta.

Periodičnost pojavljivanja pjega otkrio je astronom-amater Švabe 1843. godine. U periodu od 11 godina završi se jedan ciklus koji ima jedan maksimum i jedan minimum. U vrijeme minimuma, na površini Sunca, pjega gotovo i nema. Na početku svakog ciklusa najveći dio pjega bude raspoređen na širinama  $20^{\circ} - 30^{\circ}$ . U toku napredovanja ciklusa, zone gdje se rađaju pjege, postepeno se pomjeraju ka ekvatoru. Za mjerenje broja pjega Wolf je uveo brojni odnos koji glasi:

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





Sl. 1.41. Fotosfera sa granulacijom i pjegama. Snimak je načinjen avgusta 1975. godine dvostrukim fotosfernim teleskopom opservatorije Hvar. Snimili dr. J.Sykora i J.Knoška sa Astronomskog instituta Slovačke akademije nauka, ČSSR. (Fotografija opservatorije Hvar).

gdje su:

R = Wolfov broj

f = ukupan broj pjega

g = ukupan broj grupa pjega

k = konstanta zavisna od metoda posmatranja i vrste instrumenta

Mnoge opservatorije u svijetu prate sunčevu aktivnost i određuju Wolfov broj. Opservatorija u Cirihi je centar za prikupljanje tih podataka i organizator međunarodne službe Sunca. 1908. godine Hejl je opazio da su pjege povezane sa snažnim magnetnim poljima. Pokazalo se da su linije u spektrima pjega rascijepljene na dvije ili tri komponente. Prema poznatom fizičkom zakonu (Zeemanov efekat) to ne znači ništa drugo već da je izvor svjetlosti, u ovom slučaju pjega, smješten unutar nekog magnetnog polja. Pored toga što su linije rascijepljene, i svjetlost koja dolazi od pjega je u određenoj količini paralizovana, što je također efekat magnetnog polja. Kod pjega, koje su smještene na rubu Sunca, moguće je registrovati tri ravno polarizovane komponente spektralne linije. Za to vrijeme, pjege koje su u momentu posmatranja smještene blizu središta Sunčevog diska, imaju spektralne linije rascijepljene na dvije komponente. Ovo ne znači ništa drugo nego da su magnetna polja pjega, usmjerena normalno na površinu Sunca. Mjereći rastojanja između tih dijelova na koje se spektralna linija rascijepila, može se odrediti jačina magnetnog polja. Kod velikih pjega ta jačina iznosi od 2000 do 4000 gausa. Takođe je moguće odrediti polaritet, tj. da li nam je pjega okrenuta svojim južnim ili sjevernim polom.

Pokazalo se da su neke okrenute na jedan, a neke na drugi način. Kod dvojnih pjega najčešće se dešava da je jedna polarisana sjeverno, a druga južno. Polarnost pjega sjeverno od ekvatora ostaje jedna te ista za vrijeme jednog ciklusa. Za isto vrijeme pjege južno od ekvatora imaju suprotan polaritet. U drugom ciklusu polaritet se mijenja. Na ovaj način trajanje jednog takvog magnetnog ciklusa sunčevih pjega iznosi oko 22 godine.

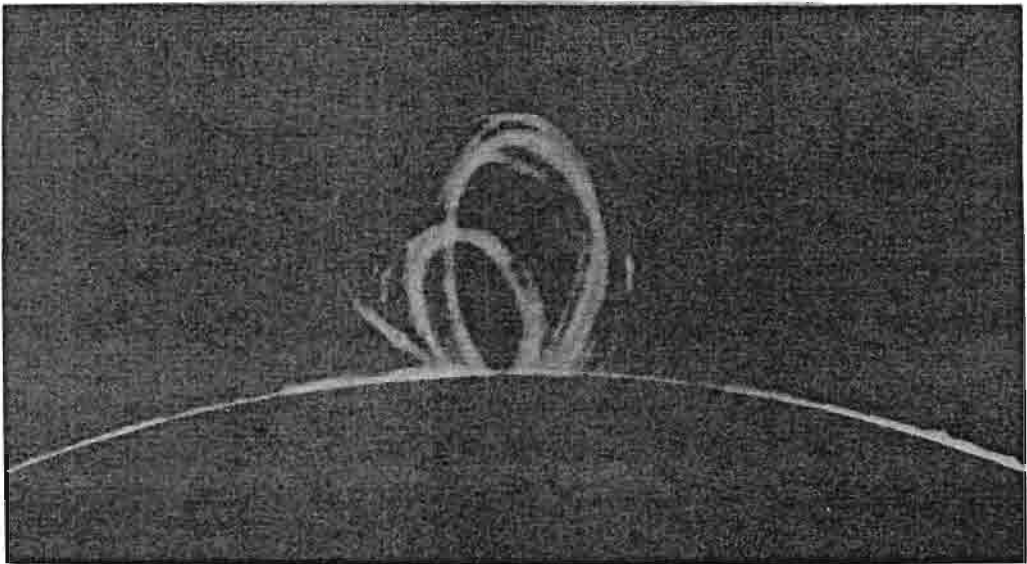
U pjegama se neprekidno vrši veoma složeno kretanje gasovitih masa. Ta cirkulacija se može dobro ispitivati pomoću spektroheliograma. Postoje pretpostavke da su Sunčeve pjege ljevkastog oblika. Kod nekih pjega, kada se ove nadu na rubu Sunčeva diska, može se primijetiti da im je dio polusjenke, koji je bliži rubu, nešto širi od onog dijela sa suprotne strane. Ova pojava se naziva Wilsonov efekat. Ovo ne treba shvatiti kao neku fizičku pojavu. Tu se jednostavno radi o posmatranju ruba Sunca iz perspektive.

Zakovitosti koje uzrokuju pojavu sunčevih pjega nisu još uvijek poznate. Postoje razne teorije koje manje ili više uspješno nastoje da to objasne. U svakom slučaju, za pretpostaviti je da su magnetna polja najpresudnija za pojavu sunčevih pjega, kako je to pokazao Babkok (1961) u svom teoretskom modelu.

### 1.14.3 Ostale pojave na Suncu

U blizini pjege često se mogu opaziti sjajne površine nepravilnog oblika i velikih razmjera. To su fakule. Njihova temperatura je nešto viša od fotosferske, pa zato izgledaju sjajnije. Osobito se ova pojava dobro zapaža ako se načini spektroheliogram Sunca u nekoj od kalcijevih linija. To je zato što fakule predstavljaju oblake kalcijuma.

Sunčeve protuberance su pojava koja privlači svojom efektivnošću. Nekada su se one mogle posmatrati samo pri totalnim pomračenjima Sunca. Kasnije je otkriveno da protuberance intenzivno zrače u oblasti linije  $H\alpha$ . Postavljanjem spektroskopa tangencijalno na rub Sunca, moguće ih je posmatrati svakodnevno. Izum koronografa je još više proširio naša znanja o ovim zaista veličanstvenim pojavama. Danas se mnogo koriste i monohromatski filteri koji propuštaju svjetlost veoma uskog dijela spektra, ili jedne spektralne linije.



Sl.1.42. Protuberance

Protuberance se mogu podijeliti, u opštem slučaju, na stacionarne i eruptivne. Ove posljednje mogu da dosegnu visinu od 1.5 milion km. nad površinom Sunca. Stacionarne protuberance liče na oblake koji plove iznad hromosfere. Temperatura protuberanci se kreće oko  $10\,000^{\circ}\text{C}$ . Na spektroheliografima se vide u obliku tamnih vlakana, ako ih posmatramo ispred Sunčevog diska. Gledane sa strane, one su vidljive kao sjajni mlazevi materije (Sl.1.42).

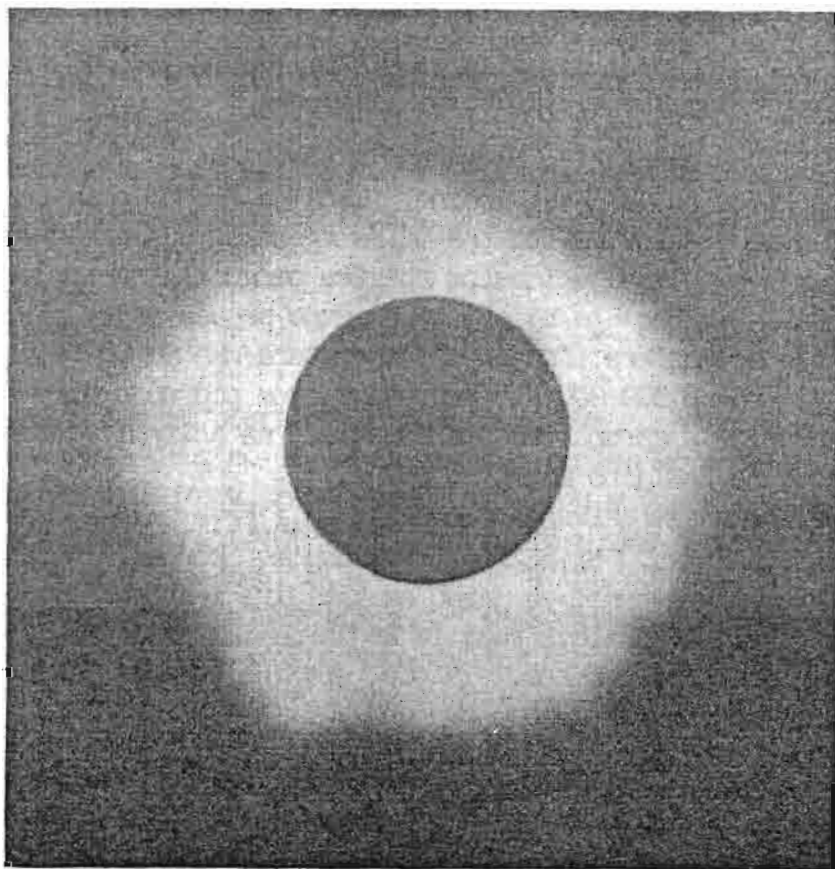


Sl.1.43. Snimak hromosfere u  $H\alpha$  svjetlosti.  
(Fotografija opservatorije Hvar).

#### 1.14.4 Hromosfera i korona

Hromosfera se za vrijeme totalnih pomračenja vidi kao crvenkasto obojeni oreol tik uz rub Sunca. Diže se neposredno iznad fotosfere i ima vlaknastu strukturu. U njenom spektru se opažaju monogobrojne emisijske linije. Diže se do nekih 15 000 km nad Suncem. Vlakna koja se zapažaju kod hromosfere zovu se hromosferne spikule. Većina emisijskih linija, koje se vide u spektru hromosfere, odgovara tamnim Fraunhoferovim linijama koje se vide u spektru Sunca, kada se posmatramo u odsustvu pomračenja. U hromosferi se često opažaju bljeskovi koji su u neposrednoj vezi sa pjegama. Ove erupcije usijane materije najbolje se mogu posmatrati u svjetlosti vodikove linije H alfa.

Jedna od imponantnih pojava koja se vidi za vrijeme pomračenja je korona. Nastavlja se na hromosferu, a pruža se na daljinu od nekoliko Sunčevih radijusa. Sjajna je kao Mjesec u prvoj četvrti, a sastoji se od unutrašnje i



Sl.1.44. Izgled korone za vrijeme totalnog pomračenja.

vanjske korone. Forma korone se mijenja i u razne godine je različita. Izum koronografa je mnogo doprinio njenom ispitivanju. Spektar unutrašnje ili K korone je neprekidan sa emisionim linijama. Naročito se ističe zelena linija sa talasnom dužinom 530 nm. Ta koronalna linija pripada višestruko jonizovanom atomu željeza. Od tog atoma je otrgnuto 13 elektrona i zato je bila potrebna ogromna energija kakvu daje temperatura od milion stepeni Kelvina. Na osnovu ovoga je procijenjeno da temperatura korone iznosi barem toliko.

U spektru vanjske ili F korone javljaju se slabe apsorpzione linije koje odgovaraju linijama običnog Sunčevog spektra. Tu se radi o odbijanju Sunčeve svjetlosti od čestice prašine i gasova koji se miješaju sa vanjskim dijelovima unutrašnje korone. Prema savremenim shvatanjima, korona se prostire znatno dalje nego što se ranije mislilo. Zapaženo je da joj se oblik mijenja u skladu sa ciklusom pjega. Ova veza ipak nije zasigurno utvrđena. Smatra se da je korona uglavnom građena od elektrona.

#### 1.14.5 Novija istraživanja Sunca

Početak svemirske ere i istraživanju Sunca posvećena je velika pažnja. Tako je u periodu od 1962-1979. godine, lansirano 8 letjelica pod nazivom "Orbiting Solar Observatory" (OSO-1 - OSO-8). One su neprekidno vršile osmatranja Sunca. Još značajnija posmatranja obavljena su sa svemirske stanice Skylab, u periodu od 1973-74. godine. Tada je Sunce posmatrano, sistemom teleskopa, u svim dijelovima spektra od rentgenskog do infracrvenog

Posmatranja u ultraljubičastom spektru omogućila su izučavanje dubljih slojeva Sunca. Posebno je bilo interesantno proučavanje prelaznog sloja, između, gornje hromosfere, gdje je temperatura oko  $50\,000^{\circ}\text{K}$ , i korone, gdje naglo prelazi na  $2\,000\,000^{\circ}\text{K}$ . Procesi u ovom području direktno utiču na zbivanja u koroni, a korona ima snažan uticaj na solarni vjetar, i zbivanja, koja se prenose na Zemljino magnetno polje.

Vanatmosferska istraživanja omogućila su i prve snimke Sunca u području rentgenskih ili X-zraka. Njih zrači, uglavnom, korona. Na tim snimcima su fotosfera i hromosfera crni, a jasno su vidljiva i zbivanja u koroni. Došlo se do otkrića tzv. koronalnih rupa iz kojih naelektrisane čestice, direktno, struje u međuplanetrani prostor. Takođe, opažene su i izolovane sjajne tačke iz kojih dolazi snažno rentgensko zračenje.

Novi projekti o istraživanju Sunca, koji su u pripremi, sadrže, pored ostalog, i lansiranje "Solar Optical Telescope". Ovaj instrument prečnika ogledala 1.25 metara bio bi lansiran pomoću "Space Shuttle-a". Takođe je u planu slanje letjelice nazvane "Solar Polar Mission" u polarnu orbitu oko Sunca. Ova letjelica bi se najprije uputila ka Jupiteru, i iskoristivši njegov gravitacioni zahvat ušla u polarnu orbitu oko Sunca, te time omogućila veoma značajna istraživanja.



#### 1.14.6 Radio zračenje Sunca i uticaj pojava na Suncu

Odavno je primjećeno da, pri prolazu neke veće eruptivne pojave na Suncu kroz njegov centralni meridijan, dolazi do pojave radio smetnji na Zemlji. Radio zračenje mirnog Sunca, tj. Sunca u doba minimuma aktivnosti, ima toplotnu prirodu. Od radio talasa koji mogu proći kroz Zemljinu atmosferu primani su centimetarski i metarski talasi. U doba aktivnog Sunca, pri pojavama velikih pjega, povezanih sa erupcijama, dolazi do snažnih radio šumova. Dužina ovih smetnji može da se kreće od nekoliko sekundi, pa do više minuta. U radio dijapazonu prečnik Sunca veći je nego u optičkom. Ovo ukazuje na to da se hromosfera i korona, takođe, javljaju kao izvori radio zračenja.

Uticaj Sunca na Zemlju je nesumnjivo velik, ali, u svim domenima, još nije dovoljno ispitan. Sunčevo korpuskularno zračenje nas neprekidno bombarduje i, pored ostalog, prouzrokuje pojavu polarne svjetlosti. Često se javljaju "magnetne oluje" u vrijeme kojih igle na kompasima započinju svoj drhtavi ples. One su, takođe, u vezi sa pojavama na Suncu.

U naše doba teži se za tim da se ogromni izvori Sunčeve energije što bolje iskoriste. Sunčeve baterije koje koriste kosmičke letjelice samo su jedan od uspješnih koraka u tom pravcu. Korišćenje Sunčeve energije u vidu kolektora za zagrijavanje kuća je takođe interesantan vid dobijanja "čiste" energije.

### 1.15 POMRAČENJA

U astronomiji pojam pomračenja podrazumijeva pomračenje svjetlosti jednog nebeskog tijela drugim. To su zanimljive pojave koje se ne ispoljavaju samo u našem Sunčevom sistemu, nego se dešavaju i u svijetu zvijezda, i u tim slučajevima su izvori mnogobrojnih informacija o njima (pomračujuće dvojne, spektroskopske dvojne zvijezde itd.).

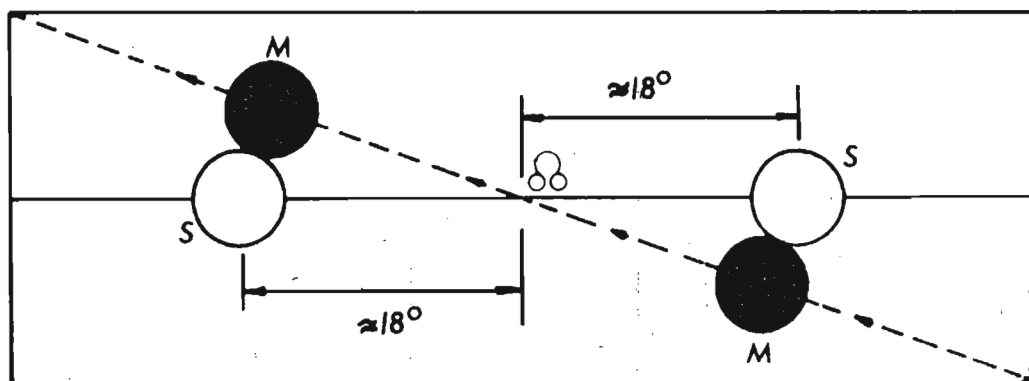
Nesumnjivo su za nas "najdramatičnija" pomračenja ona koja se dešavaju u našem Sunčevom sistemu, a u kojima "učestvuju" Sunce, Mjesec i Zemlja. Nekad su ova pomračenja u narodu stvarala pometnju i strah, jer je nastajanje noći, usred bijela dana, objašnjavano nekim božanskim silama. Tako, mi sa Zemlje možemo posmatrati dvije vrste pomračenja: Sunčeva i Mjesečeva. Najproštije rečeno, prva nastaju kada je svjetlost Sunca zamračena Mjesecom, a druga, kada je svjetlost Sunca prema Mjesecu zaklonjena Zemljom.

Danas se ne dešava ni jedno Sunčevo ni Mjesečevo pomračenje a da o tome, ranije, nismo obavješteni. Astronomi su u stanju da, u sekundu, predvide kada će koje pomračenje početi i završiti, tako da se godinama unaprijed sastavljaju tabele sa datumima i oblastima iz kojih će biti vidljivo.

### 1.15.1 Sunčeva pomračenja

Kada bi se, kojim slučajem, ravan Mjesečeve orbite poklapala sa ravni ekliptike, Sunčeva pomračenja bi se dešavala svakog mladog Mjeseca. U tom trenutku Mjesec bi se našao na pravoj, između Sunca i Zemlje, i svojim prividnim prečnikom zaklonio Sunce. Međutim, ove dvije ravni se ne poklapaju, nego je ravan Mjesečeve putanje nagnuta prema ravni ekliptike pod uglom od  $5^\circ$ , tako da Mjesec najčešće prolazi iznad ili ispod ekliptike i pomračenja se ne dešavaju.

Ako pažljivo razgledamo crtež 1.45, vidjećemo koji su uslovi potrebni da bi došlo do pomračenja. Prije svega, vidi se da Sunce i Mjesec moraju biti  $18^\circ$  istočno ili zapadno od jednog čvora, tj.  $18^\circ$  istočno ili zapadno od presjeka Mjesečeve putanje sa ekliptikom. U suprotnom, prividni prečnici Sunca i Mjeseca neće doći u "kontakt", te se neće desiti ni pomračenje.

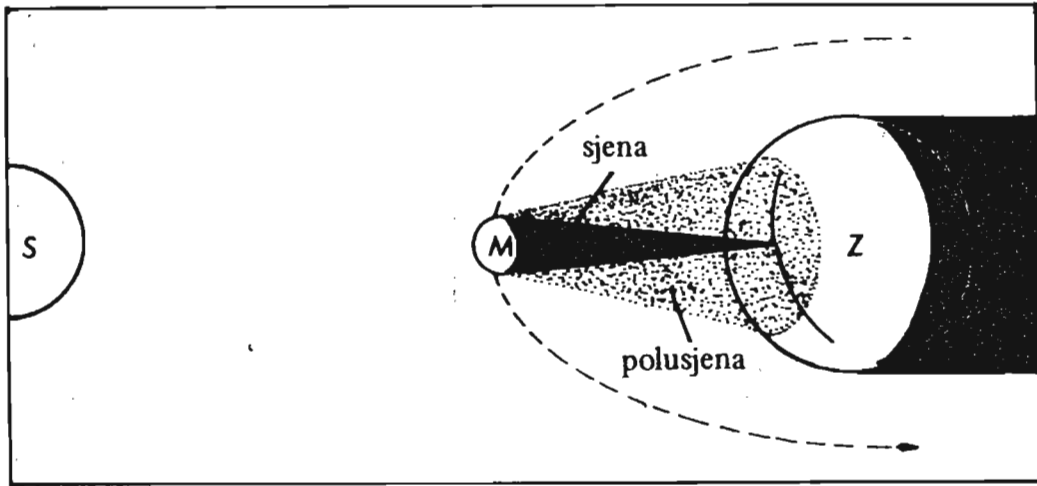


Sl.1.45. Uslovi potrebni da dode do Sunčevog pomračenja.

Postoje tri tipa Sunčevih pomračenja: totalna, prstenasta i djelimična. Kada će koje (od ovih) biti, zavisi od udaljenosti Sunce-Zemlja, Zemlja-Mjesec i Mjesec-Sunce. Sa crteža (Sl.1.45) se jasno vidi da Sunce (označeno sa S) i Mjesec (označen sa M) moraju biti tačno u čvoru da bi se desilo totalno pomračenje.

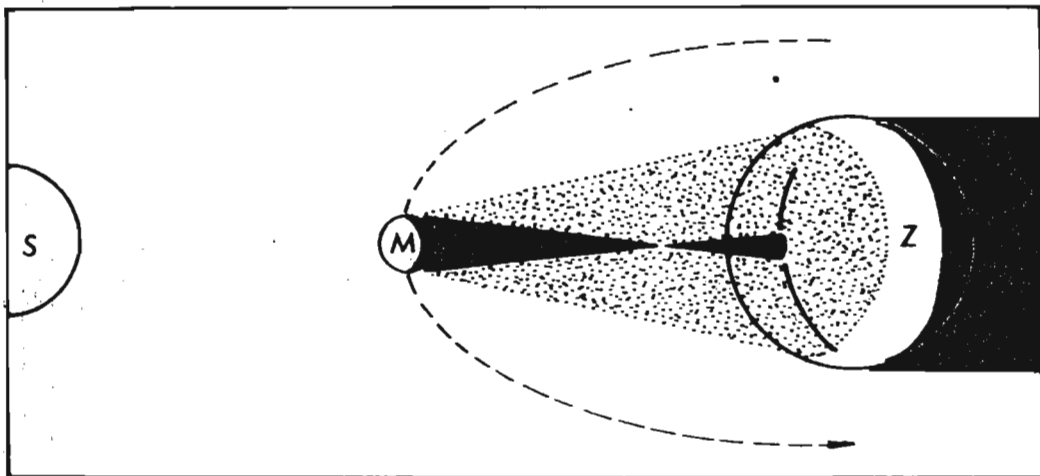
Na slici 1.46 je dat šematski prikaz totalnog pomračenja. Sa slike zaključujemo da će se totalno pomračenje vidjeti sa Zemlje samo iz onih oblasti na koje pada Mjesečeva sjena, dok će tamo gdje pada polusjena biti djelimično. Prečnik sjene koja pada na Zemlju ne može biti veći od 300 km, te se, zbog toga, totalno pomračenje vidi samo iz uskih oblasti. Kako se Zemlja obrće oko svoje ose, a Mjesec se kreće oko Zemlje, sjena se pomjera po Zemljinoj površini i pomračenje se postepeno vidi iz tih uskih oblasti. Totalitet u jednoj tački maksimalno može trajati  $7^m30^s$ , kao što je to bio slučaj sa pomračenjem od 30. juna 1973. godine koje je ujedno bilo i najduže u ovom vijeku.





Sl.1.46. Šematski prikaz totalnog Sunčevog pomračenja.

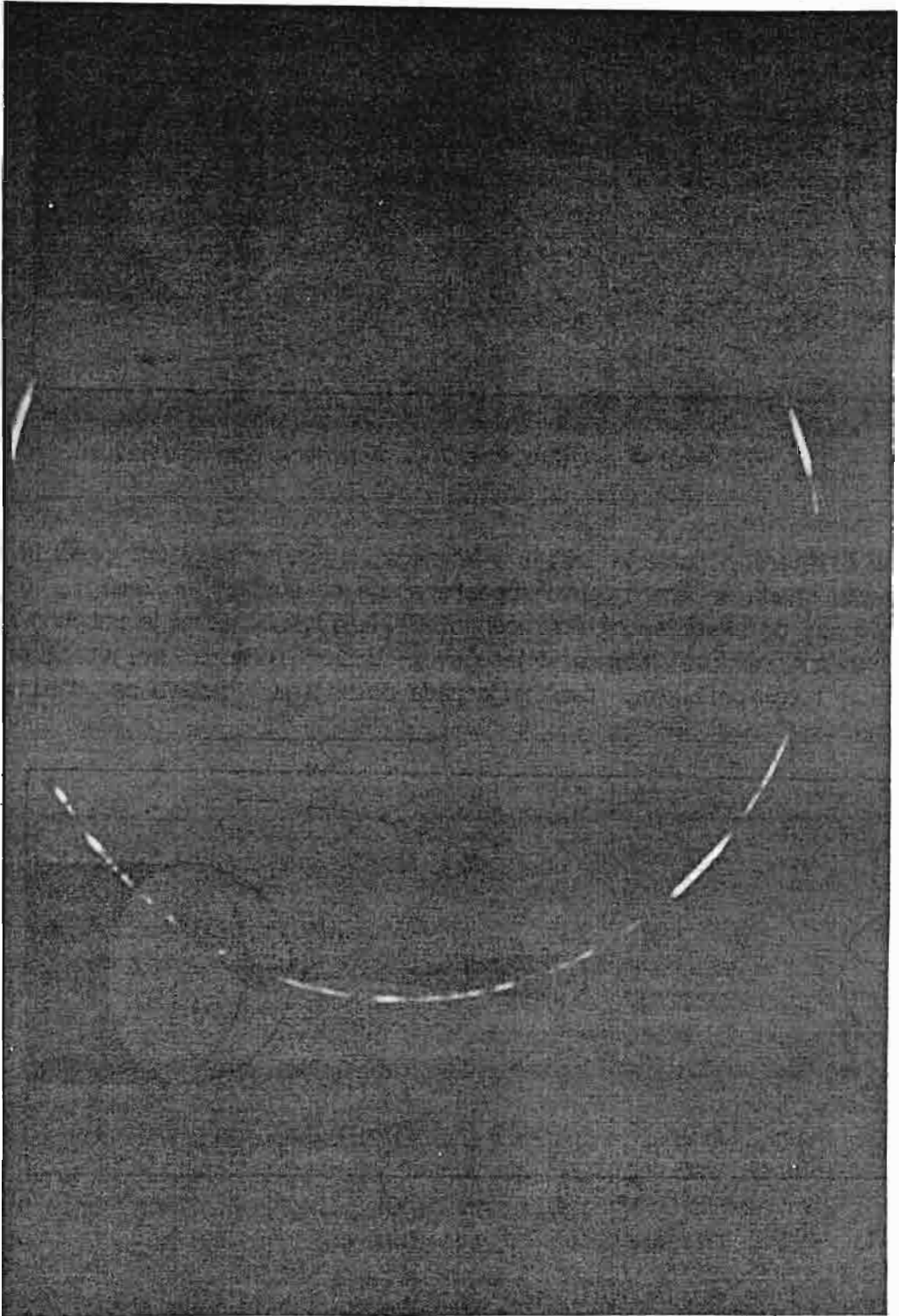
Zbog eliptičnih putanja Zemlje i Mjeseca, Mjesečev prividni prečnik nije uvijek isti. Kada se vrh njegove kupaste sjene ne formira na Zemlji, u tom slučaju dolazi do prstenastog pomračenja (Sl.1.47). Sunce nije potpuno prekriveno, nego se oko tamnog Mjesečevog diska formira svijetli prsten (Sl.1.48). I tom prilikom, tamo gdje pada polusjena, dešava se djelimično pomračenje.



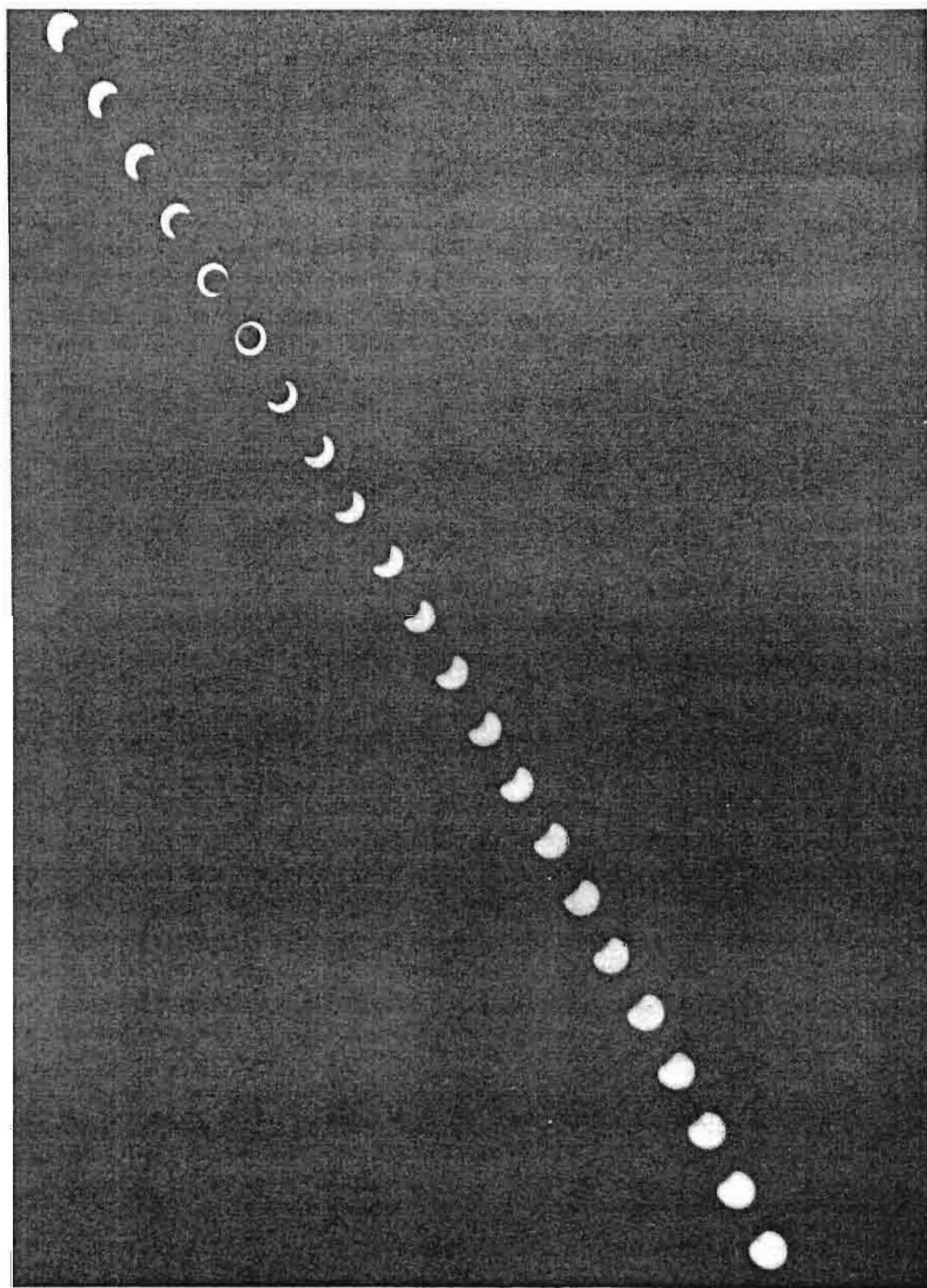
Sl.1.47. Šematski prikaz prstenastog pomračenja.

Zadnje totalno pomračenje posmatrano iz Jugoslavije je bilo 15. februara 1961. godine, a slijedeće će se vidjeti tek 7.10.2135. godine.

Obzirom da postoje dva čvora, u jednoj kalendarskoj godini mogu se desiti najmanje dva Sunčeva pomračenja. Međutim, problem postaje nešto

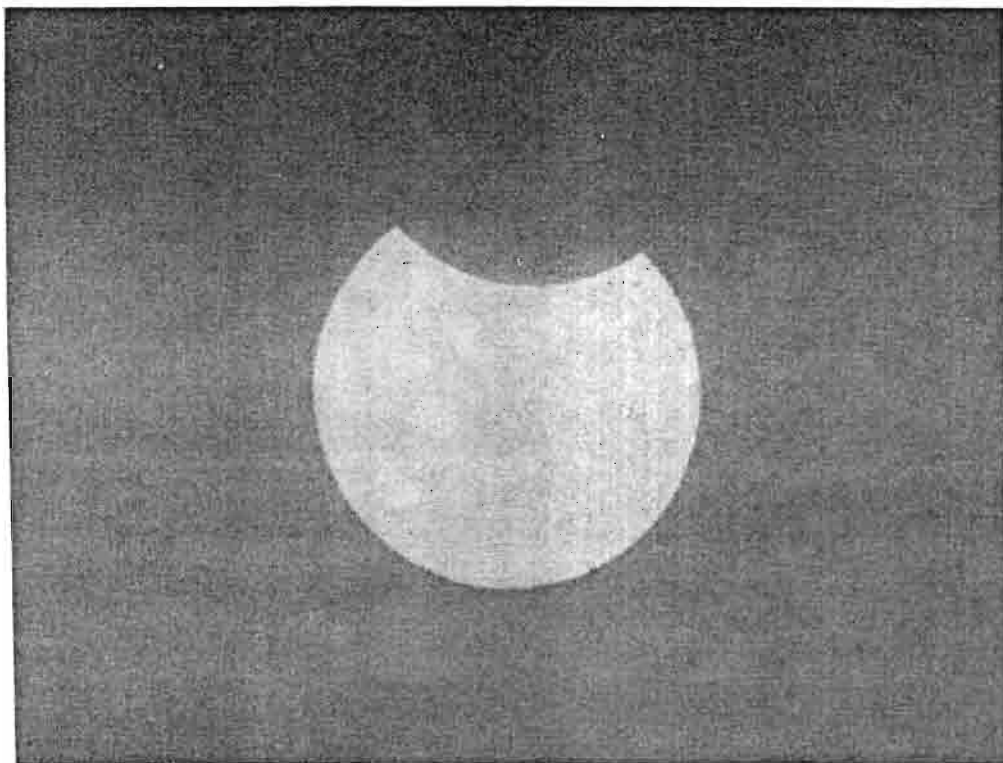


Sl.1.48. Izgled Sunca za vrijeme prstenastog pomračenja. Snimak načinila ekspedicija Astronomskog društva iz Sarajeva 20.maja 1966. iz Grčke. (Fotografija iz arhive Astronomске opservatorije u Sarajevu).



Sl.1.49. Snimak toka prstenastog pomračenja Sunca. (Fotografija Zvezdarnice u Zagrebu).

složenija zbog toga, što čvorovi mjesečeve putanje ne zadržavaju nepromijenjen položaj na ekliptici, nego se pomjeraju u susret Suncu, koje za 19 godina napravi pun obrt po ekliptici. To je razlog što Sunce ne prelazi tačno za pola godine put od jednog čvora do drugog, tj. ne za 183, nego za 174 dana. Znači, ovaj period od 174 dana jednak je razmaku između dva pomenuta pomračenja u godini. Ali, u jednoj kalendarskoj godini može ih biti i više (nikad ispod dva) - maksimalno pet. Da bi se to desilo, potrebno je da prvo pomračenje bude prvih dana januara, prilikom približavanja Sunca jednom čvoru. Drugo pomračenje je mjesec dana kasnije kod tog istog čvora. Iza toga je pauza od pet mjeseci. U tom periodu Sunce "putuje" prema drugom čvoru. I kod ovog čvora se uzastopno dese dva pomračenja. Na kraju, može se desiti još jedno pomračenje i to kada se Sunce ponovo približi prvom čvoru, krajem decembra.

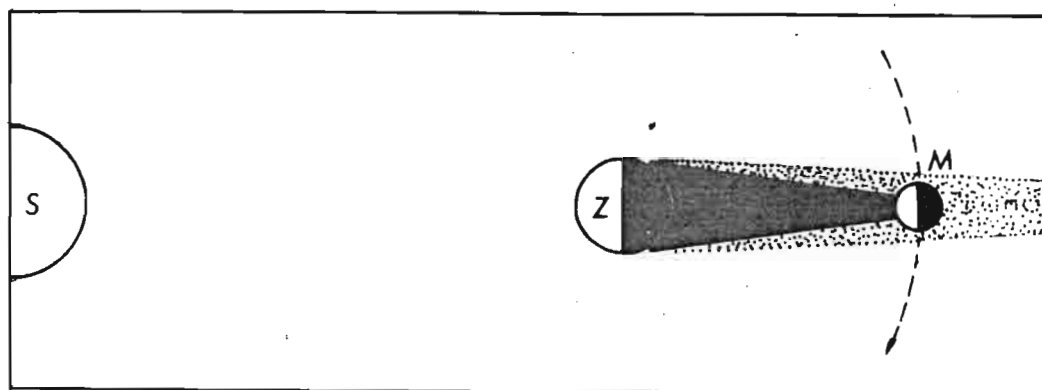


Sl.1.50. Izgled Sunca za vrijeme djelimičnog pomračenja.  
(Fotografija: M.Muminović, Astronomska opservatorija, Sarajevo).

Prilikom djelimičnih pomračenja, Sunce izgleda u obliku srpa (Sl.1.50), dok se za vrijeme totalnog može posmatrati nekoliko zanimljivih pojava. To je, u prvom redu, već pomenuta korona koja lepezasto okružuje Sunce u trenutku totaliteta. Pored toga, ljepotu tog prizora dočaravaju i protuberance koje se kao purpurni mlazevi dižu iznad tamnog kotura.

## 1.15.2 Mjesečeva pomračenja

Mjesečevo pomračenje, potpuno ili djelimično, nastaje kada se pun Mjesec nađe blizu čvorova Mjesečeve putanje i uđe u Zemljinu sjenu. To nam je šematski prikazano na slici 1.51. Obzirom na udaljenost Zemlja-Mjesec, na veličinu Zemlje, i na njihove brzine kretanja, Mjesec se u Zemljinoj sjenci



Sl.1.51. Šematski prikaz Mjesečevog pomračenja.

najviše može zadržati  $1^h$  i  $40^m$ , a pomračenje se može vidjeti sa cijele Zemljine površine sa koje se u tom trenutku vidi Mjesec.

Prilikom Mjesečevih pomračenja, Sunčeve zrake zadržava Zemlja, pa one ne padaju na Mjesec i prilikom potpunog pomračenja čini nam se da se Mjesec "ugasio". Međutim, pošto Zemlja zadržava Sunčeve zrake, logično bi bilo da se Mjesec, kada uđe potpuno u sjenu, uopšte ne vidi, a ne da dobije tamnu crvenkasto-bakarnu boju. Odakle potiče ova boja? To je od Sunčevih zraka koje su prošle kroz Zemljinu atmosferu, prelomile se, i pale na Mjesec, i obzirom da se crveni zraci više prelamaju, jasno je odakle Mjesec dobije tamno-crvenkastu boju. Da li će Mjesec za vrijeme totaliteta "sijati" jače ili slabije ovom crvenkastom bojom, zavisi od vremenskih (meteoroloških) uslova, kada ovi zraci prolaze kroz atmosferu. Na slici 1.52 je dat snimak djelimičnog pomračenja. Vidimo kako izgleda Mjesec za vrijeme djelimičnog pomračenja, jer granica noći i dana (kao, recimo, kod prve četvrti), nije jasno vidljiva.

## 1.16 POSTANAK SUNČEVOG SISTEMA

Sasvim je jasno da planete i druga tijela koja sačinjavaju Sunčevu porodicu, nisu postojala oduvijek, već su imale svoj početak i evoluciju. U astronomiji se problemima postanka planeta, asteroida, kometa, meteora, zvi-



Sl.1.52. Izgled Mjeseca za vrijeme djelimičnog pomračenja.  
(Fotografija: M.Stupar, Astronomska opservatorija, Sarajevo)

jezda i zvjezdanih sistema, te raznih drugih objekata koje susrećemo u svemiru, bavi kosmogonija. U dugom istorijskom periodu ona je bila, uglavnom, vezana uz vladajuće religiozne ili religiozno-filozofske sisteme svijeta. Naravno, da se tako bitnom činu kao što je "postanak svijeta" oduvijek pripisivao božanski akt, pa se prve, makar primitivne, naučne teorije o tome pojavljuju tek u 18 vijeku.

Da bi jedna kosmogonijska teorija mogla opstati ili, bar djelimično ostati u nekim granicama realnosti, ona mora da objasni neke utvrđene činjenice o Sunčevom sistemu. Prije nego predemo na kraće izlaganje najvažnijih kosmogonijskih teorija upoznaćemo se sa osnovnim karakteristikama Sunčevog sistema kao cjeline.

1. Sva tijela Sunčevog sistema, izuzev kometa, približno su sfernog oblika i imaju kružne ili eliptične putanje. Sve te putanje leže, približno,

u jednoj ravni koja se naziva ekliptika.

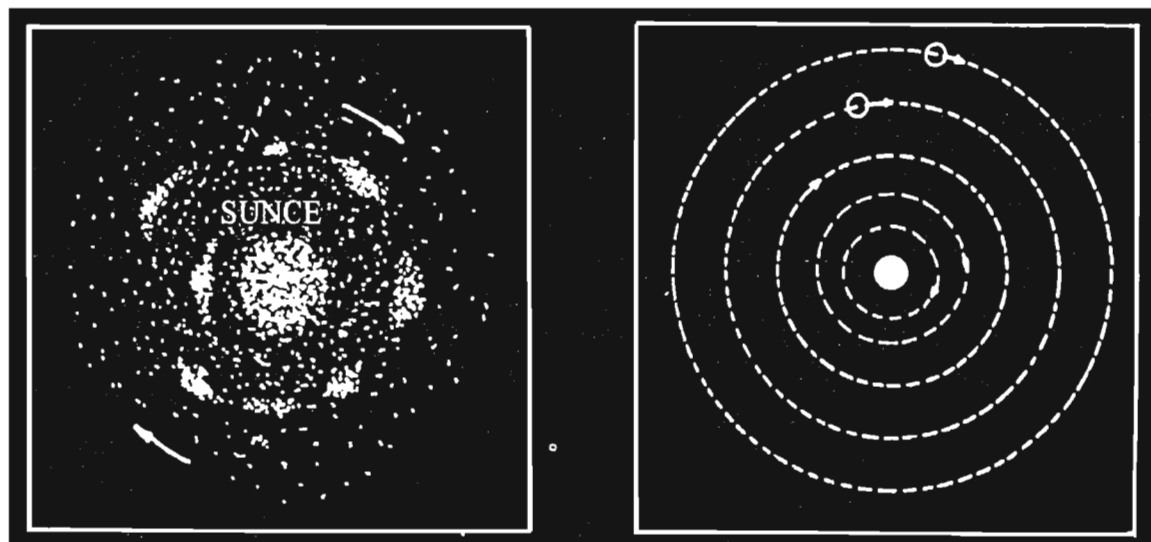
2. Sve planete Sunčevog sistema i njihovi sateliti okreću se oko svoje ose i oko Sunca u jednom smislu koji se naziva direktni smisao (kretanje suprotno ovome naziva se retrogradno).

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

Takođe sve kosmogonijske teorije moraju uzeti u obzir tzv. Ticius-Bodeovo pravilo. Ticius i Bode su još u 18 vijeku došli do formule u koju je dovoljno staviti redni broj  $n = -\infty, 0, 1, 2, 3, 4, 5, \dots$  pa da se dođe do rastojanja svih poznatih planeta. Formula glasi:  $a_n = 0.4 + 0.3 \cdot 2^n$ . Tako ako uvrstimo  $n = -\infty$ , dobijemo da bi se planeta Merkur nalazila na udaljenosti od Sunca:

$$a_1 = 0.4 + 0.3 \cdot 2^{-\infty} = 0.4 \text{ astronomskih jedinica}$$

Prvu kosmogonijsku teoriju postavio je filozof Immanuel Kant 1755. godine. On je smatrao da u haotičnoj pramaglinoj, koja se nalazila na mjestu današnjeg Sunčevog sistema, dolazi do postepenog privlačenja čestica. Materija je bila u užarenom stanju i rotirala u direktnom smislu. U središtu se zgusnulo Sunce, a dalje od njega planete. Pošto je Kant bio filozof, to, jasno, ova teorija nije imala nikakvu matematsku podlogu.

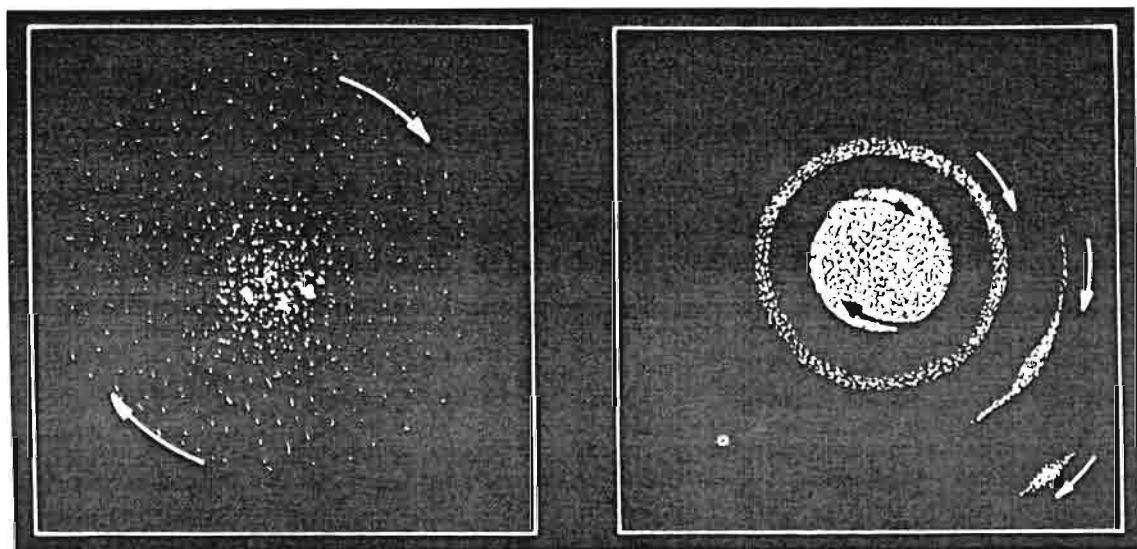


Sl.1.53. Postanak Sunčevog sistema po Kantovoj teoriji.



Sličnu ideju o postanku imao je francuski naučnik Pierre Simon Laplace. Najvjerojatnije nije znao za Kantova razmišljanja. Laplasova detaljna razrada i kasniji doprinosi drugih doveli su do toga da je, u istoriji nauke ova teorija ostala pod nazivom Kant-Laplace-ova teorija. Po njoj, u dalekoj prošlosti, na mjestu gdje je sada naš planetni sistem, postojala je ogromna gasovita maglina nastala koncentracijom međuzvezdane materije. Bila je užarena i rotirala u direktnom smislu. Usljed neprekidnog emitovanja energije, maglina se postepeno hladila i skupljala. Po zakonima mehanike, takvo skupljanje neminovno vodi povećanju ugaone brzine tijela koje rotira.

Pravilnije je reći da se radi o zakonu očuvanja impulsa obrtnog momenta. On je jednak proizvodu mase tijela, njegove linearne brzine i, udaljenosti tačke za koju vrijedi od ose rotacije. Pošto se impuls morao očuvati, a masa je konstantna, to smanjenje radiusa magline uzrokuje povećanje brzine rotacije. Pošto je maglina bila u gasovitom stanju, to je povećanje brzine dovelo do njene spljoštenosti na polovima, i ispupčenosti na ekvatoru. Kada je centrifugalna sila na ekvatoru prešla neku kritičnu vrijednost, postavši znatno jača od privlačne sile, počelo je odvajanje materije sa ekvatorskih predjela. Po Laplace-u materija se odvajala u obliku prstenova koji su nastavili da rotiraju oko magline koja ih je rodila. Laplace je dao analogiju sa Saturnovim



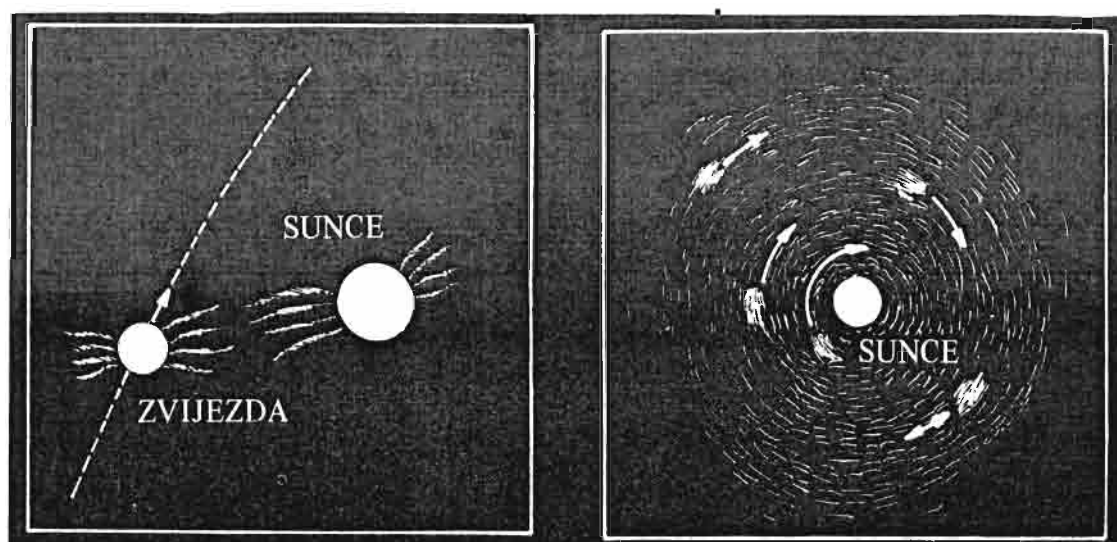
Sl.1.54. Kantova teorija starta sa usijanom maglinom koja je rotirala, postepeno se hladila i skupljala.

prstenovima koji se nisu pretvorili u veće tijelo zbog nekih poremećaja. Od svakog prstena kondenzovala se po jedna planeta tako, što su krupnije čestice privlačile sitnije. Sateliti planeta su nastali na sličan način od prstenova koji su se formirali oko planeta.

Kant-Laplace-ova teorija se dugo održala kao najbolje objašnjenje postanka našeg planetnog sistema. Međutim, vremenom su u njoj otkrivene brojne protivrječnosti koje su dovele do obaranja ove teorije. Najprije je J.C. Maxwell izvršio matematičku analizu ove teorije zapitavši zašto se iz Saturnovih prstenova nije formiralo neko veće tijelo. Zbog toga je on teorijski razbio današnje planete, čije se mase znaju, 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. Zato je bilo potrebno imati prstenove sa 100 puta većom masom. James Jeans je na osnovu sadašnjeg momenta količine kretanja Sunca, i planeta, izračunao moment količine kretanja prvobitne magline. Na ovaj način je utvrdio da pramaglina nikada u svojoj istoriji, nije 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, ipak, nije opaženo. Ove primjedbe i kasnija otkrića retrogradnih kretanja nekih satelita, i planeta dovela su do napuštanja Kant-Laplace-ove teorije.

Neuspjeh maglinske teorije da objasni postanak planetnog sistema naveo je astronome da se pozabave drugim mogućim uzrocima rađanja. Jedno vrijeme su posebno bile popularne teorije sudara i plimskog dejstva. Svima je zajednička karakteristika da se postanak objašnjava uticajem nekog stranog tijela (zvijezde) ili više njih.

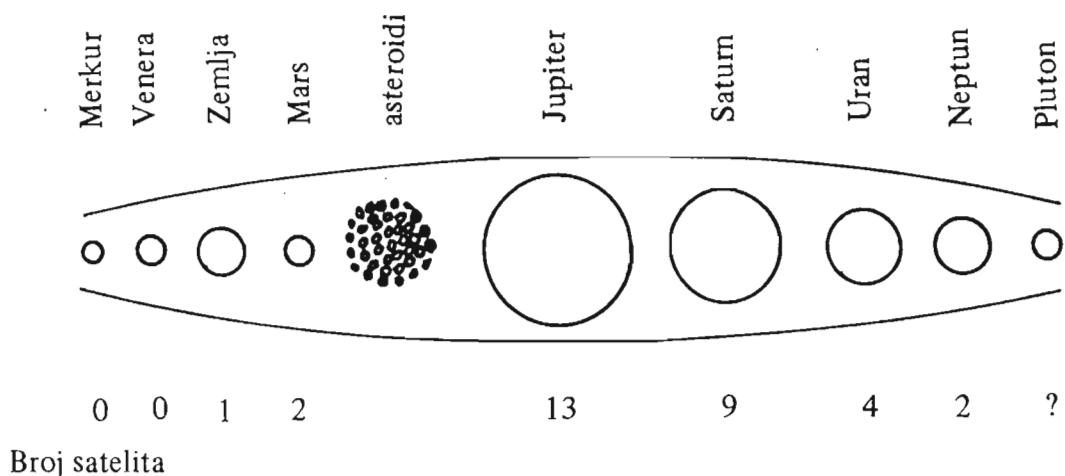
Najprije su Moulton i Chamberlin pretpostavili da se neka zvijezda približila Suncu na svom putu kroz svemir. Približavanje je izazvalo goleme erupcije materije na obje zvijezde. Ta izbačena materija okružila je svaku zvijezdu, a iz nje su se kondenzovali planetni sistemi.



Sl.1.55. Chamberlin-Moulton-ova plimska teorija.

1917. godine, već pomenuti James Jeans, inače veliki engleski astronom, postavio je svoju teoriju plimskog dejstva. Ta teorija je bila znatno savršenija od ostalih ovog tipa. Po njoj, u dalekoj prošlosti, Suncu se približila zvijezda na udaljenosti od nekoliko njegovih poluprečnika. Njena gravitacija je na Suncu izazvala pojavu džinovskih plimskih grebena. Slična pojava, u znatno manjim razmjerama, može se posmatrati na Zemlji u slučaju njenih vodenih masa. Plimsko ispupčenje, 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 nastavio da rotira oko Sunca.

Cigarastim oblikom ovog mlaza materije Jeans objašnjava zašto mase planeta rastu do Jupitera, a onda opadaju do Plutona. To je prikazano na slici 1.56. Na središnjem dijelu "cigare", gdje su se privlačne sile neutralizovale, materije ima najviše. Ovaj vretenasti mlaz materije raspao se na manje kondenzacije, koje su nastavile da se kreću oko Sunca. Postepenim očvršćavanjem



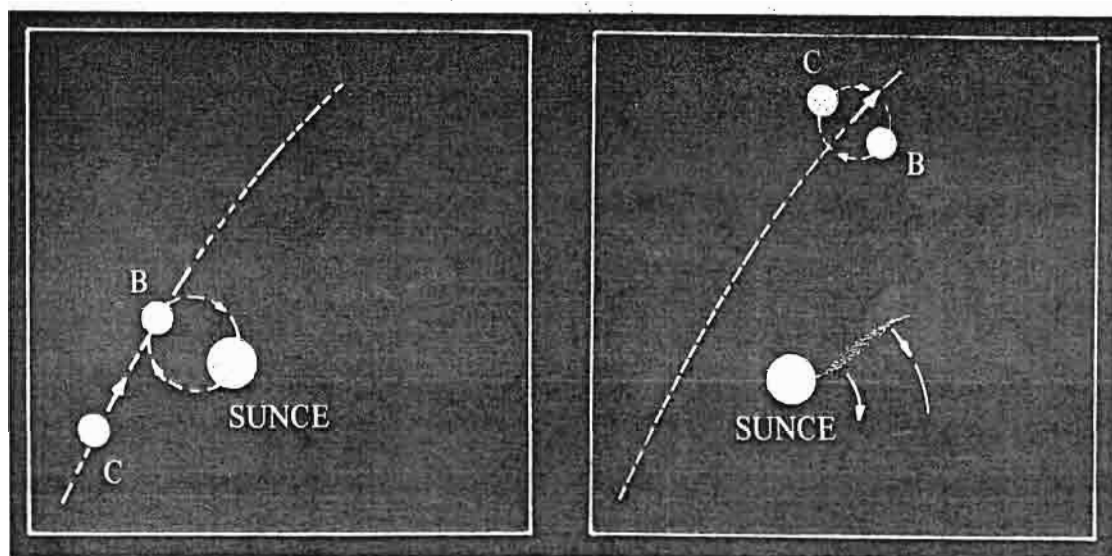
Sl.1.56. Objašnjenje uz Jeans-ovu teoriju zašto mase planeta rastu do Jupitera a opadaju do Plutona ("cigara").

nastale su planete. Prvobitno su putanje planeta bile izdužene elipse, no, one su se vremenom ispravile, zbog stalnih sudara planeta sa preostalom materijom.

Jeansova teorija se nije dugo održala. Osnovna zamjerka njoj i drugim teorijama katastrofe je mala vjerovatnost da se nešto ovako desilo. Čak i da se zanemare ostali fizički aspekti, ostaje činjenica da je susret dvije zvijezde, čak i u ogromno velikim vremenskim periodima, izuzetno rijedak događaj. Toliko rijedak da bi planetarni sistemi u svemiru bili neka vrsta čuda i

Lyttleton 1936. godine uvodi hipotezu sličnu Jeans-ovoj. Po njemu je Sunce u prošlosti bilo dvojna zvijezda.

Treća zvijezda (na slici 1.59. označena sa C) približila se i svojom gravitacionom silom povukla Sunčevog pratioca sa sobom. Pri tome je oko Sunca ostao filament materije iz koga su se formirale planete. Ovim je djelimično riješena protivrječnost u momentu količine kretanja koja kod Jeansa nije bila riješena u vezi planeta. No, ostaje primjedba nevjerovatnosti ovakvog događaja i nejasnoće oko odlaska Sunčevog saputnika.

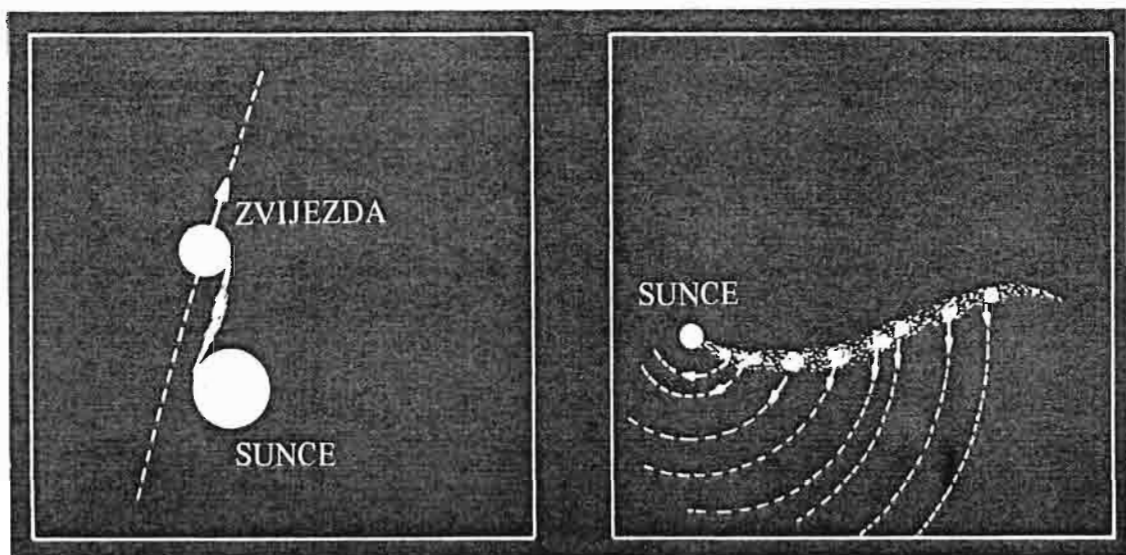


Sl.1.59. Lyttleton-ova teorija polazi od toga da je Sunce bilo dvojna zvijezda kojoj se približila treća zvijezda (C) i povukla sunčevog pratioca.

U ovu grupu teorija spada i Hoyle-ova koju je on postavio 1944. godine. On, takode, polazi od pretpostavke da je Sunce bilo član dvojnog sistema. Ta druga zvijezda je eksplodirala kao nova, odbacujući spoljne slojeve materije i to možda znatno veću količinu u jednom smjeru (ka Suncu), nego u drugim. Ta materija se raširila u obliku školjke i onaj njen masivniji dio je bio zahvaćen od strane Sunca. Nakon toga se zvijezda udaljila (?!).

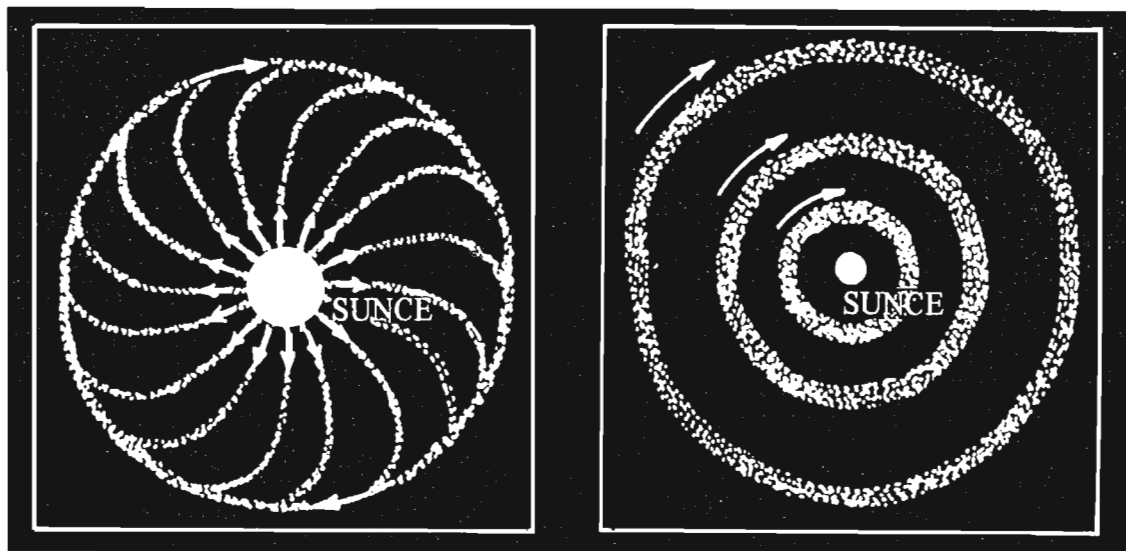
Neuspjeh katastrofalnih i plimskih teorija da objasne nastanak Sunčevog sistema naveo je astronome da se ponovo vrate, na staru, Kant-Laplace-ovu teoriju, unoseći u nju potpuno nove elemente. Među najbolje, od savremenih nebularnih kosmogonija, ubraja se ona koju je dao K.Weizsacker. Po njemu se najprije u prošlosti iz haotične materije formiralo Sunce. Ostatak materije je u obliku diska prašine i gasova nastavio da orbitira oko Sunca. U početku su se sve te čestice, sitnije i krupnije, kretale haotično, sudarajući se međusobno. Vremenom je došlo do izvjesnog regulisanja tih kretanja. Po Weizsackeru, čestice i gasovi su postepeno obrazovali neku vrstu viorastih ćelija.

broj bi im se u čitavoj galaksiji mogao mjeriti dvocifrenim brojem. Mnogobrojna posredna opažanja ukazuju da bi broj planetskih sistema u svemiru trebao biti daleko veći, i da samo u našoj galaksiji mora da postoji nekoliko miliona ovakvih sistema. Pored ovoga, pronađeni su i matematički nedostaci teorije i pokazalo se da se pomenuti pramen materije nije mogao kondenzovati u planete pod uslovima koje je Jeans naveo.

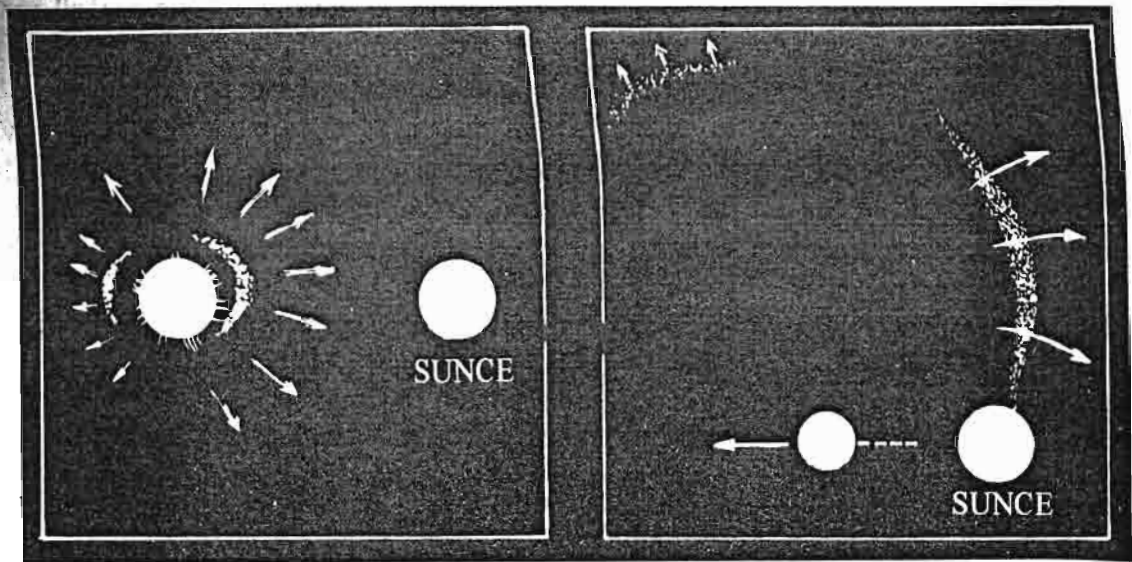


Sl.1.57. Jeans-ova plimska teorija.

1930. godine Berlage pretpostavlja da sa Sunca izleću naelektrisani atomi i molekule i zatim se kreću spiralnim putanjama u Sunčevom magnetnom polju. To, na kraju, rezultira, stvaranjem koncentričnih prstenova gasa, iz kojih se, kasnije, kondenzuju planete.

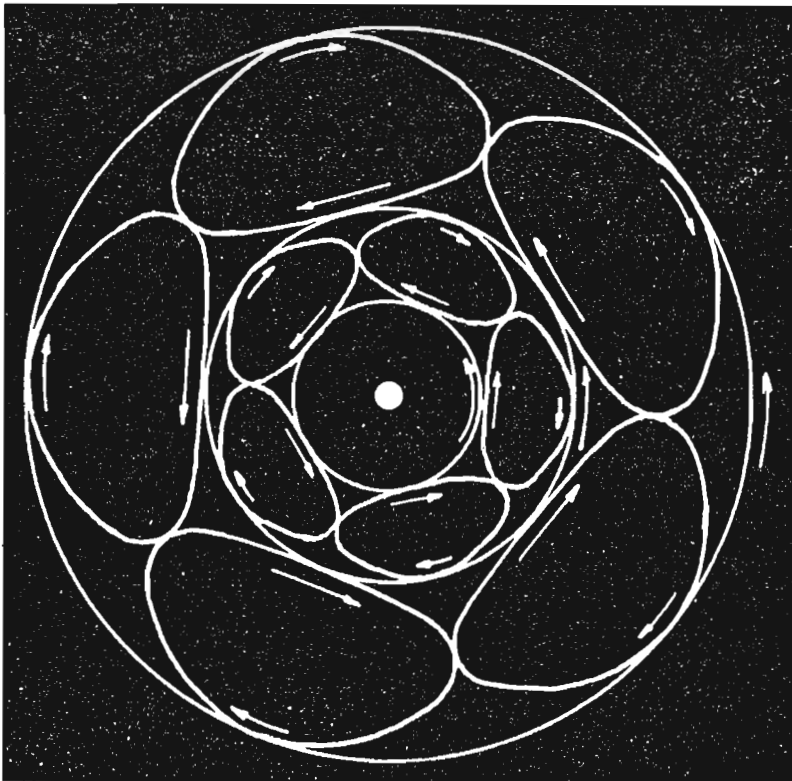


Sl.1.58. Berlageova teorija o postanku Sunčeva sistema.



Sl.1.60. Hojl polazi od pretpostavke da je Sunce bilo dvojna zvijezda i da je njegov pratilac eksplodirao kao Nova.

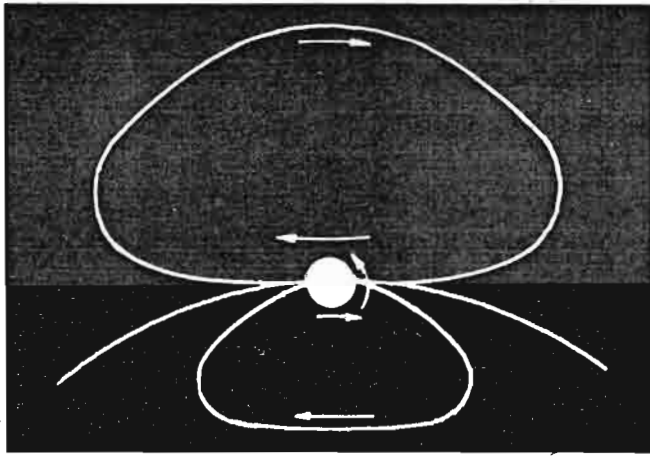
U koncentričnim prstenovima formiralo se po pet vrtloga, u kojima su čestice rotirale po zatvorenoj putanji, a središta vrtloga su se istovremeno obrtala oko Sunca. Na mjestima dodira unutrašnjih i vanjskih lanaca vrtloga dolazilo



Sl.1.61. Formiranje viorastih ćelija po Weizsackeru.

je do trenja i sudara čestica. Pri tome su se manje čestice "ukopavale" u veće, pa su dimenzije krupnijih tijela neprekidno rasle. Upravo, na takvim dotirima vrtloga vremenom se formiraju krupnija tijela - planete.

Stalnim sudarima čestica, temperatura nastalih tijela je rasla. Ovakvim lancima od po pet vrtloga Weizsacker objašnjava Ticius-Bodeovo pravilo o udaljenostima planeta od Sunca. Ako se posmatra slika, lako se primjećuje da poluprečnici uzastopnih graničnih linija koje odvajaju pojedine lance vrtloga čine geometrijsku progresiju. Poluprečnik svake sljedeće je dva puta veći od prethodne. Nakon formiranja planeta, i ostalih tijela, ostatak materije se raspršio u međuzvjezdani prostor. Jedan jako razrijeđen dio je ono što posmatramo kao zodijsku svjetlost.



Sl.1.62. Formiranje planeta kao rezultat interakcije dvije vioraste ćelije (Prema Weizsackeru).

Osnovne primjedbe koje se postavljaju ovoj teoriji najviše se odnose na proizvoljno uvođenje vrtloga u prvobitnu maglinu. Takođe se stiče utisak da su karakteristike pojedinih vrtloga i raspored njihovih lanaca unaprijed sračunate na one rezultate kakvi su se željeli dobiti.

Gerarad Kuiper je 1949. godine, pod dubokim uticajem Weizsacker-a, postavio sličnu hipotezu. Maglina koja je rotirala oko Sunca postala je vremenom nestabilna, i bila razbijena na manje gasovite oblake koje je Kuiper nazvao protoplanetama. Savremene planete su samo mali ostaci tih protoplaneta, a najveći dio njihove mase bio je "oduvan" korpuskularnim zračenjem Sunca. Planete Zemljinog tipa, po njemu, nisu se mnogo mijenjale u pogledu mase tokom geološke evolucije. Usijanost njihovih unutrašnjosti mogla je nastati kao posljedica radioaktivnih procesa u središnjim zonama. Sateliti planeta su se obrazovali istim putem kao i planete. Iako je Kuiperova teorija veoma dobro razrađena, ona ipak posjeduje nedostatke koji su, uopšte, karakteristični za



sve klasične pristupe kosmogoniji.

Sovjetski astronom O.Šmit dao je 1943. godine svoju varijantu nebularne hipoteze. Ona se često naziva i meteoritna. Šmit smatra da je Sunce pri svom kruženju oko središta galaksije više puta prolazilo kroz ogromne oblake međuzvezdane materije koji su, kako znamo, smješteni u galaktičkoj ravni Mliječnog puta. Jednom prilikom ono je povuklo za sobom dio te materije. Maglinski oblak je okružio Sunce u vidu džinovskog diska koji se, pod djelovanjem pritiska svjetlosti, pretvorio u prsten. Zbog sunčeve toplote, iz bližih dijelova prstena, isparavali su laki elementi, a time Šmit objašnjava njihovu malu zastupljenost na unutrašnjim planetama.

Nasuprot tome, vanjske planete imaju ogromne količine lakih elemenata, kao što je vodonik. Stalnim sudarima čestice su se međusobno sljepljivale. Prva veća tijela bila su neprekidno zapljuskivana meteorskom materijom, pa je njihova masa stalno rasla. Po ovoj teoriji, planete su se formirale u hladnom stanju. Zagrijavanje unutrašnjosti Zemlje nastalo je raspadanjem radioaktivnih elemenata. Kada se unutrašnjost dovoljno rastopila, došlo je do spuštanja teških elemenata i isplivavanja lakih.

Upoređivanjem hemijskog sastava meteoritske materije ukazuje na postojanje sličnosti sa sastavom Zemlje. Najveći dio meteorske materije koja je bila bliska Suncu pao je na njega, pa je za formiranje unutrašnjih planeta ostalo manje materijala nego za vanjske.

No, iako je ova teorija u početku imala uspjeha i ona se nije pokazala dobrom. Najviše je kritikovano zahvatanje materije od strane Sunca. Iako je, kao ideja, ovaj zahvat bio originalan pristup, većina astronoma se složila da je vjerovatnost da do njega dođe jako mala. Pored toga, ozbiljne primjedbe postavljene su ovoj teoriji zbog njene nemogućnosti da objasni raspored planeta od Sunca i, mnoge druge opažene pojave i zakonitosti. Tako se i ova teorija morala smatrati nedovoljnom da pruži potrebna objašnjenja o stvaranju našeg sistema.

Jedna zajednička karakteristika svih opisanih teorija bila bi da one uglavnom nisu uzimale u obzir električne i magnetne sile. Jedini je izuzetak Berlage. Poznati švedski astrofizičar H.Alfven razrađuje teoriju u kojoj planetni sistem nastaje uglavnom pod uticajem elektromagnetnih sila. Po njemu su se neutralni atomi gasovitog oblaka, oko Sunca, postepeno jonizovali, padajući ka Suncu i to zbog međusobnih sudara i pod dejstvom Sunčevog zračenja. Tako naelektrisane čestice počele su da slijede put magnetnih silnica Sunca i obrazuju oko njega prsten materije. Međutim, jedan od rezultata teorije je da bi unutrašnje planete trebale imati znatno više lakih elemenata od vanjskih, što znamo nije slučaj.

Uopšte, na kraju bi se moglo konstatovati da nemamo ni jedne teorije koja bi nam dovoljno uvjerljivo i sa nekim čvršćim dokazima mogla govoriti o istoriji Sunčevog sistema. No, i ovo što je opisano, ima svakako značajnu ulogu u približavanju istini. Isto tako, nema sumnje, da će direktna istraži-

vanja planeta koja su već počela voditi ka daleko sigurnijim i prihvatljivijim hipotezama. Jer samo sprega teorije i praktičnih rezultata može da nas vodi ka istini.

## 2. ZVJEZDANA ASTRONOMIJA

U periodu do otkrića teleskopa zvijezde su smatrane nepomičnim tačkama čija je jedina uloga bila da se na osnovu njih odredi kretanje planeta, Sunca i Mjeseca. Povremena pojava Novih i Supernovih zvijezda unosila je sumnje u vječnu nepromjenljivost svijeta zvijezda. No, takvi događaji nisu uticali na opšte mišljenje, izuzev što su ih astrolozi smatrali predznacima nesreće ili sreće, već kako im je odgovaralo.

Otkriće teleskopa omogućilo je nagli razvoj stelarne astronomije. Fundamentalne radove na tom polju dao je engleski astronom Vilijam Heršel. On je uočio osnovne karakteristike Mliječnog puta. Sistematska posmatranja neba donijela su mnoga otkrića.

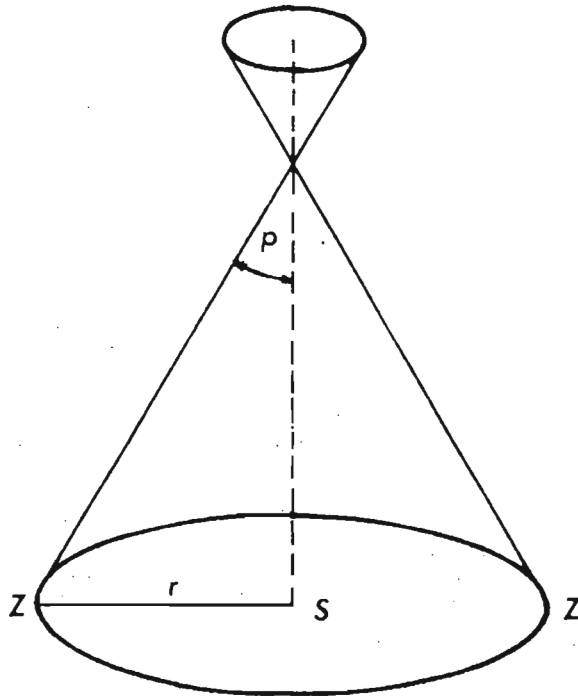
Radovi Besela, Struvea i drugih, omogućili su prva trigonometrijska određivanja udaljenosti zvijezda. Isto tako opažena su orbitalna kretanja nekih dvojnih zvijezda.

Otkriće spektralne analize omogućilo je razvoj nove astronomske discipline - astrofizike. Spektri su omogućili direktno izučavanje fizičkih stanja u kojima se nalaze pojedine zvijezde. Savremena stelarna astronomija ima na raspolaganju mnogobrojne uređaje za uspješna istraživanja svijeta dalekih treperavih sunaca.

### 2.1 RASTOJANJA ZVIJEZDA I NJIHOVA KRETANJA U PROSTORU

Jedna od prvih metoda za određivanje zvjezdanih udaljenosti bila je pomoću paralakse. Zvezdana 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 se vidi na slici 61, to kretanje manifestuje se tako da nam se čini da zvijezda na nebeskoj sferi opiše jednu malu elipsu.

Pošto su zvezdana rastojanja ogromna, to paralaktičko pomjeranje jedne zvijezde je veoma malo. Za zvijezde na većim udaljenostima paralaksu nije mo-



Sl.2.1. Zvezdana paralaksa

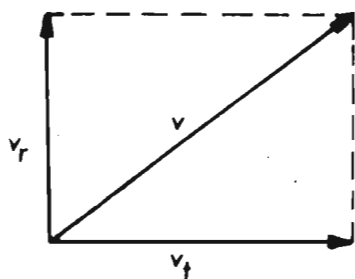
guće ni mjeriti. Besel je 1837. godine izmjerio paralaksu zvijezde 61. Labuda, a negdje u isto vrijeme Struve je odredio taj ugao za Vegu. Najveću paralaksu ima Proksima Centauri (Suncu najbliža zvijezda) i ona iznosi  $0''.762$ . Poznavajući taj ugao nije teško jednostavnim računom doći do podatka da je Proksima daleko 4.2 s.g.

Za mjerenja paralaksi potrebni su veoma precizni uređaji, a u novije vrijeme se koristi fotografija. Paralaktičkom metodom određena je udaljenost nekih 5000 bližih zvijezda. Za mjerenje ovih udaljenosti koriste se dvije jedinice. Svjetlosna godina predstavlja put koji pređe svjetlost za godinu dana krećući se brzinom od oko 300 000 km/s. Danas se više koristi jedna druga jedinica koja se naziva parsek. To je rastojanje sa koga se radius Zemljine orbite vidi pod uglom od jedne sekunde. Udaljenost neke zvijezde izražena u parsecima i paralaksa iste zvijezde povezane su sljedećom relacijom:

$$d = 1/p$$

gdje je "d" udaljenost zvijezde, a "p" paralaksa. Jedan parsek ima 3.26 s.g.

Zbog velikih udaljenosti na kojima se nalaze zvijezde, nije moguće, u kraćim vremenskim razmacima, opaziti neka njihova kretanja. Precizna mjerenja su pokazala da se kod nekih bližih zvijezda može utvrditi kretanje u prostoru. U opštem slučaju zvijezda može da se kreće u ma kom pravcu, a posmatrač sa Zemlje vidi neku komponentu tog kretanja, ili ga uopšte ne primjećuje.



Sl.2.2. Kretanje zvijezda (tangencijalno i radijalno)

Ukoliko se mjere spektri zvijezda, onda se na osnovu veličine pomaka ka crvenom ili ljubičastom kraju (Doplerov efekat), može odrediti brzina. Neka se neka zvijezda u prostoru kreće brzinom  $v$ . Na slici 2.2 predstavljene su prave brzine zvijezde " $v$ " i njene komponente. Tangencijalna " $v$ " je u pravcu normalnom na pravac posmatranja, a radijalna " $v$ " je u pravcu posmatranja. Tangencijalnu brzinu možemo odrediti mjereći vrijeme za koje zvijezda pređe neki luk na nebeskoj sferi, a radijalna brzina određuje se spektralnom analizom. Poznajući ove dvije veličine lako je odrediti pravu prostornu brzinu neke zvijezde.

I Sunce, kao zvijezda, ima svoje kretanje u prostoru. Ono se kreće ka jednoj tački koja leži na granici sazviježda Lira i Herkules. Brzina ovog kretanja je 19.5 km/sec. Ova tačka se naziva apeks. Do ovih podataka došlo se posmatranjem zvijezda u toj zoni neba. Prividno izgleda da se one udaljuju od tačke apeksa, a to znači da se Sunce kreće u tom smjeru. Zvijezde na suprotnoj strani nebeske sfere (antipeks) pokazuju obrnuti efekat.

Najveće sopstveno kretanje ima zvijezda Barnard koja za godinu dana pređe luk od  $10''.27$ .

## 2.2 S J A J Z V I J E Z D A

Zvijezde su ogromne gasovite lopte čija su rastojanja, kako smo već vidjeli, velika. Zbog toga nam od njih dopire veoma malo svjetlosti. No, i te male količine se mjere, i daju brojne podatke o zvijezdama. Pošto sjaj zvijezda zavisi od njihove fizičke strukture sa jedne, te udaljenosti sa druge strane, bila je neophodna neka standardizacija koja bi omogućila upoređivanje njihovog sjaja. Tako je uvedena apsolutna zvjezdana veličina ili apsolutni zvjezdani sjaj. To je ona zvjezdana veličina, izražena u jedinicama prividne veličine ili sjaja, koju bi imala data zvijezda kad bi se nalazila na rastojanju od 10 parseka.

Skalu prividnih zvjezdanih veličina uveo je još Hiparh. On je zvijezde, po njihovom sjaju, podjelio na šest razreda. Najsjajnije zvijezde su proglašene zvijezdama prve veličine, a nadalje, do šeste veličine, redaju se zvijezde sve slabijeg sjaja.

Kada se spoznalo da je mjerenje zvjezdanih veličina od velikog značaja za astronomiju, onda se tražio neki način da se odredi konstantan odnos sjaja, koji odgovara razlici od jedne veličine. Pri tome se težilo da se stara podjela, iz praktičnih razloga ne mijenja, već da se samo matematski preciznije definiše. Kod ovog se vodilo računa da ljudski osjećaji imaju osobinu da

spoljne nadražaje, čiji intenzitet raste po geometrijskoj progresiji, provode tako da ih mozak prima u aritmetičkoj progresiji. Tako se pokazalo da je odnos sjaja dvije susjedne prividne veličine blizak 2.5. To znači da je, na primjer, zvijezda druge veličine 2.512 puta slabija od zvijezde prve veličine. Zvijezda šeste veličine ja na ovaj način 100 puta slabija od zvijezde prve veličine. Pogson je dao sljedeću formulu koja povezuje intenzitet zračenja dvije zvijezde sa njihovim prividnim veličinama:

$$\frac{E_1}{E_2} = 2.512 (m_2 - m_1)$$

$$\log \frac{E_1}{E_2} = 0.4 (m_2 - m_1) \quad (1)$$

$$m_2 - m_1 = 2.5 \log \frac{E_1}{E_2}$$

$m_1$  i  $m_2$  su prividne veličine dvije zvijezde a  $E_1$  i  $E_2$  su intenziteti zračenja koji od njih dopiru.

Sada ćemo ovaj odnos primijeniti na jednu te istu zvijezdu, pretpostavimo, da se ona nalazi u jednom slučaju na svom pravom rastojanju "r", a drugi put na udaljenosti od 10 parseka:

$$\frac{E_o}{E} = 2.512^{m - M} \quad (2)$$

Ovdje je "m" prividna, a "M" apsolutna veličina jedne zvijezde. Pošto je jačina svjetlosti obrnuto proporcionalna kvadratu rastojanja, možemo pisati:

$$\frac{E_o}{E} = \frac{r^2}{10^2} \quad (3)$$

"r" je izraženo u parsecima. Iz (2) slijedi:

$$\frac{r^2}{10^2} = 2.512^{m - M} \quad (4)$$

Ako logaritmujemo gornji izraz, dobićemo:

$$2 \log r - 2 = (m - M) \log 2.512$$

$$\log 2.512 = 0.4$$

$$m - M = 5 \log r - 5 \quad (5)$$

Posljednja relacija je poznata formula koja povezuje prividni sjaj zvijezde, njeno 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  $p$  paralaks, izraz (5) može da se piše i ovako:

$$m - M = -5 \log p - 5$$

Prividna zvjezdana veličina Sunca iznosi  $-26.7$ . Sa udaljenosti od 10 ps Sunce bi nam izgledalo kao zvijezda sa prividnom veličinom  $4.8$ .

Premda prividna i apsolutna zvjezdana veličina u mnogim astronomskim problemima igraju važnu ulogu, ipak se pored njih može definisati još jedna veličina. To je bolometarska zvjezdana veličina. Ona se ne može mjeriti neposredno, jer se kod nje karakteriše puno zračenje neke zvijezde. Znamo da atmosfera i međuzvjezdana materija upijaju pojedine talasne dužine svjetlosti. Bolometarska zvjezdana veličina može se izračunati ako poznajemo temperaturu zvijezde i neku od zvjezdanih prividnih veličina (vizuelnu ili fotografsku). Apsolutna bolometarska veličina se definiše slično.

Kod praktičnog određivanja prividnih bolometarskih veličina, prividnoj zvjezdanoj veličini se dodaje bolometarska popravka, koja određuje dio zračenja koji se ispušta u nevidljivim dijelovima spektra (infracrvenim ili ultraljubičastim). Bolometarska popravka za zvijezdu od  $25\ 000\ ^\circ\text{C}$  je ravna  $-2.7$ .

Prividne zvjezdane veličine nekada su bile određivane okom. Danas se, naravno, tako ne radi. Koriste se fotoelektrični uređaji ili fotografska metoda. Kod korištenja fotografije došlo se do definicije dvije različite zvjezdane veličine. Jedna je fotografska veličina koja se mjeri zacrnjenjem, što ga neka zvijezda izazove na običnoj foto ploči koja je osjetljiva na plavi i ljubičasti dio spektra. Vizuelna zvjezdana veličina je ona koju mjeri ljudsko oko koje je u toku evolucije ostalo osjetljivo na žuti i crveni dio spektra. Pošto oko nije precizno, ova veličina se mjeri na sljedeći način. Uzme se emulzija osjetljiva na taj dio spektra, a koriste se i filteri koji propuštaju žuti i crveni dio spektra. Pošto se mjeri fotografski, ova veličina se zove fotovizuelna prividna veličina. Kod ovih veličina se upotrebljavaju sljedeće oznake:

$m_{ph}$  = fotografska prividna veličina

$m_{pv}$  = fotovizuelna prividna veličina



Razlika između fotografske i fotovizuelne veličine naziva se indeks boje ili pokazatelj boje i označava sa CI. Tako imamo:

$$CI = m_{ph} - m_{pv}$$

Indeks boje zvijezda spektralnog tipa AO je jednak nuli. Plave zvijezde O i B imaju negativan pokazatelj boje jer na običnoj ploči, osjetljivoj na plavo, one izgledaju sjajnije nego što bi izgledale na ploči osjetljivoj na žuti dio spektra. Kao što znamo, što je brojno manja prividna veličina, to je zvijezda prividno sjajnija. Fotovizuelna veličina ove zvijezde biće veći broj, pa će gornji izraz koji definiše kolor indeks biti negativan. Za žute i crvene zvijezde indeks boje je pozitivan što se može pokazati sličnim razmatranjem kao što je prethodno.

Poznavajući indeks boje neke zvijezde, možemo približno odrediti njen spektralni tip i temperaturu.

Inače najsjajnija poznata zvijezda (apsolutno) je S Doradus koja je od Sunca sjajnija oko milion puta. Katalaoški broj ove zvijezde je HD 33 579 i ima apsolutni sjaj - 10.1. Iz naših krajeva se ne vidi.

## 2 . 3    T E M P E R A T U R E    Z V I J E Z D A

Znamo da je temperatura mjera energije koju sadrži neko tijelo. Nju ne treba miješati sa toplotom koja je oblik energije tijela. Temperatura zvijezda je temperatura vanjskih slojeva sa kojih nam zračenje dolazi. Ti slojevi su ono što se obično naziva zvjezdana atmosfera. O unutrašnjoj temperaturi možemo samo da prosudujemo na osnovu teorijskih modela.

Vidjeli smo da zvijezde imaju različite boje, i to nas navodi na pomisao da su te boje različite usljed razlika u temperaturama. Grijemo li željezo ono će od crvene, preko žute i plave, doći do bijele kada je najviše usijano. U fizici se za razmatranje problema zračenja i apsorpcije energije koristi jedan teorijski model, nazvan apsolutno crno tijelo. Zračenje zvijezda je uporedivo sa zračenjem apsolutnog crnog tijela i zbog toga zakoni zračenja crnog tijela igraju važnu ulogu kod određivanja temperature zvijezda.

### 2.3.1 Stefan-Bolcmanov zakon

Prema ovom zakonu količina energije koju zrači jedan kvadratni centimetar apsolutnog crnog tijela je proporcionalna četvrtom stepenu njegove apsolutne temperature tj.

$$E = \sigma T^4$$

gdje je  $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} (\text{°K})^{-4}$ .

2.3.2 Vinov zakon pomjeranja

Talasna dužina na koju pada maksimum zračenja apsolutno crnog tijela određuje se zakonom pomjeranja, koji je formulisao Vin:

$$\lambda_{\max} = \frac{29 \cdot 10^5}{T} \text{ nm}$$

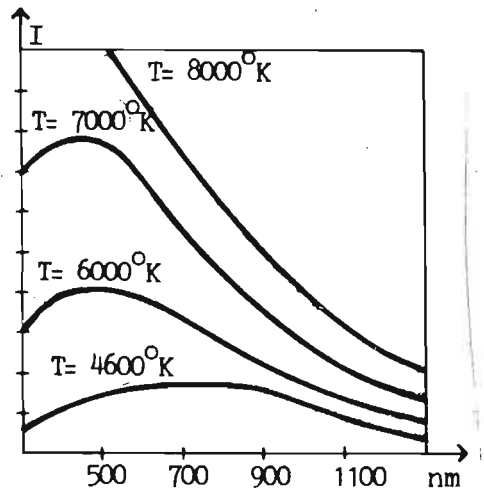
Na grafiku (Sl.2.3) koji prikazuje zavisnost intenziteta zračenja od talasne dužine za različite temperature, vidljivo je da sa porastom temperature maksimum zračenja pada ka ultraljubičastom dijelu spektra.

Stefan-Bolcmanov zakon daje nam mogućnost određivanja efektivne temperature samo za zvijezde kojima poznamo ugaoni prečnik ( $\theta$ ). Zvijezda koja ima linearni radijus R, zrači u jednoj sekundi energiju:

$$L = 4 \pi R^2 \sigma T^4$$

Ova energija se na udaljenosti "r" od zvijezde (r je udaljenost Zemlja-zvijezda) raspoređuje na površinu sa radijusom "r", i na jedinicu ove površine pada energija:

$$E = \frac{4 \pi R^2 \sigma T^4}{4 \pi r^2} = \sigma T^4 \left( \frac{R}{r} \right)^2$$



Sl.2.3.

Ugaoni prečnik zvijezde izražen u ugaonim sekundama iznosi:

$$\theta = 206\,265'' \frac{2R}{r}$$

Slijedi:

$$T = 642.3 \sqrt[4]{\frac{E}{\sigma \theta^2}}$$

E se, inače, određuje sa bolometrijskih prividnih veličina date zvijezde ( $m_b$ ) i Sunca ( $m_{b\odot}$ ). U formuli se pojavljuje i solarna konstanta  $E_{\odot}$ .

Formula glasi:

$$\log \frac{E}{E_{\odot}} = 0.4(m_{b\odot} - m_b)$$

$$m_{b\odot} = -26.85$$

$$\log E = \log E_{\odot} - 10.74 - 0.4 m_b$$

$$\frac{E_{\odot}}{\sigma} = 2.399 \cdot 10^{10} \quad \log \frac{E_{\odot}}{\sigma} = 10.380$$

$$\text{Konačno dobijamo: } \log T = 2.718 - 0.1 m_b - 0.5 \log \theta$$

Ovom metodom dobijene su efektivne temperature samo malog broja zvijezda (oko pedesetak), za koje je bilo moguće drugim metodama izmjeriti ugaoni prečnik.

Snimanjem zvjezdanih spektara moguće je prilično pouzdano doći do podatka o rasporedu energije u spektru, odnosno, do temperature. Ranije smo pomenuli da se temperatura može naći i pomoću indeksa boje zvijezde. Najveća tačnost, kod ovakvih mjerenja, dobija se propuštanjem svjetlosti zvijezda kroz različite filtre, i mjerenjem pomoću fotoelektričnih fotometara. Postoji dosta fotometrijskih sistema koji se razlikuju po tome koje dijelove spektra propuštaju filteri, i kakav tip fotomultiplikatorske cijevi (ova cijev se danas najviše koristi kao prijemnik) se koristi za registraciju. Tako je, danas najrasprostranjeniji sistem UBV ili klasični Džonsonov sistem gdje se koriste ultraljubičasti (U), žuti ili vizuelni (V) i plavi (B) filteri. Takođe su značajni i drugi sistemi, kao što je Strengrenov, uskopojasni, ubvy, te razni višebojni sistemi koji često prekrivaju čitav vidljivi dio spektra.

Teorija jonizacije plazme, u atmosferama koju okružuju zvijezde, takode nam omogućava da saznamo približne podatke o temperaturama koje tu vladaju. Uvijek je moguće izračunati kolika je temperatura potrebna da bi se atom nekog elementa jonizovao određen broj puta tj, da bi se od njega otrgnuo određen broj elektrona. Veličina jonizacije određuje se spektralnom analizom.

Mjerenja su pokazala da se temperature zvijezda uglavnom kreću između  $2800^{\circ}$  i  $30\,000^{\circ}\text{K}$ . Postoje i znatna odstupanja koja nisu česta.

## 2.4 MASE ZVIJEZDA

Osnovni metod za mjerenje mase zvijezda bila je primjena trećeg Keplerovog zakona u obliku u kakvom ga je dao Newton. Taj zakon moguće je koristiti kod sistema dvojnih zvijezda, prateći njihova kretanja. Mi ćemo posmatrati slučaj centralne zvijezde veće mase oko koje se kreće manji saputnik. Za njih vrijedi relacija:

$$M_1 + M_2 = \frac{4\pi^2 A^3}{k_p^2} \quad (1)$$

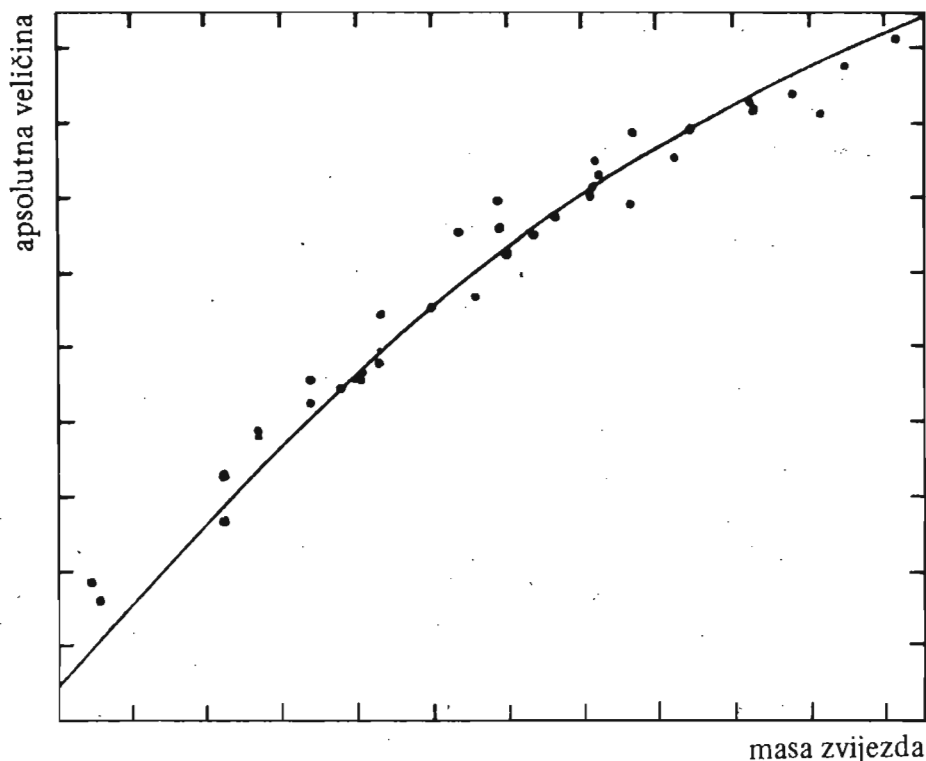
Ovdje su "k" gravitaciona konstanta, "A" velika poluosa orbite saputnika, "P" period obilaska saputnika oko centralne zvijezde. Za rješavanje problema koristićemo se istim izrazima za slučaj Zemlje i Sunca čije mase i ostale podatke znamo. Formula u ovom slučaju ima oblik:

$$M_z + M_s = \frac{4\pi^2 A^3}{k p_z^2} \quad (2)$$

Ako podijelimo međusobno relacije (1) i (2) i izostavimo masu Zemlje ( $M_z$ ) kao zanemarljivo malu u poređenju sa masama Sunca i zvijezda, onda dobijemo:

$$\frac{M_1 + M_2}{M_s} = \left(\frac{A}{A_z}\right)^3 \left(\frac{P_z}{P}\right) \quad (3)$$

Iz izraza (3) može se izračunati koliko je puta suma masa komponenti dvojne zvijezde veća od mase Sunca. Za mjerenje svake mase, posebno se sprovode veoma komplikovana mjerenja udaljenosti glavne zvijezde i saputnika od težišnog centra. Za određivanje zvjezdanih masa ostalih zvijezda, koje nisu dvojne, koriste se druge metode.



Sl.2.4. Dijagram masa - sjaj

Istraživanjem se došlo do poznatog dijagrama masa - sjaj (Sl.2.4). Na njemu je na apscisnu osu nanesen logaritam mase a na ordinatu apsolutna bolometarska veličina.

Dijagram nam govori da što je veća masa zvijezde to je i njen sjaj veći. Ovaj odnos se može predstaviti jednim matematskim izrazom u kojem je G masa zvijezde a M njen apsolutni sjaj:

$$G = 3.89 \cdot 10^{-0.1194M}$$

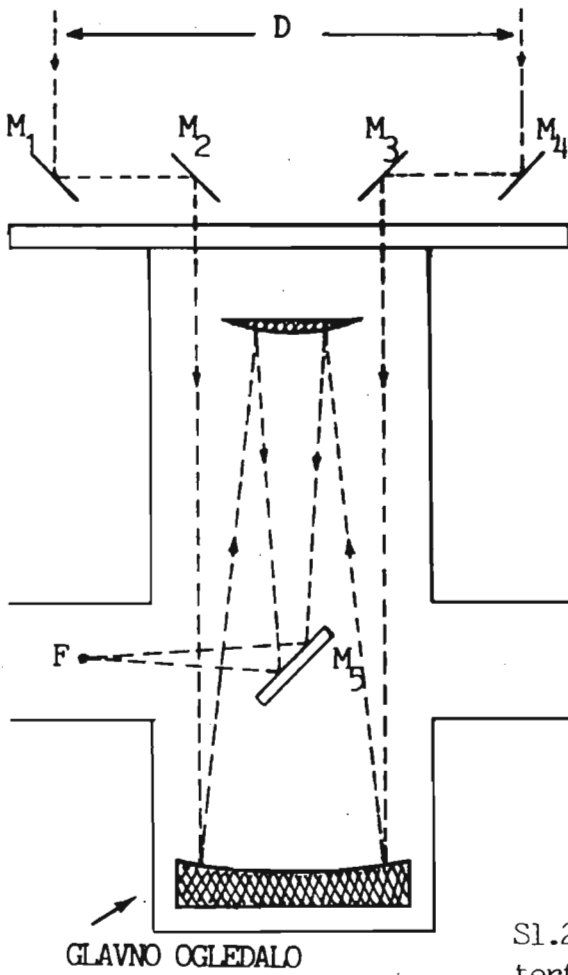
Masa G izražava se u sistemu u kome je Sunčeva masa uzeta za jedinicu. Do dijagrama masa-sjaj došlo se tako, što su uneseni podaci za sjaj i mase dvojnih zvijezda. Ovaj odnos ne važi u potpunosti za sve zvijezde, ali se za dobar dio njih može primijeniti sa uspjehom.

Pokazalo se da se mase zvijezda ne razlikuju mnogo od mase Sunca. One se u prosjeku kreću od 0.09 sunčevih masa (Wolf 359) pa do 50 sunčevih masa (Antares A). Jedna od najmasivnijih poznatih zvijezda je HD 47 129 ili Plaske-tova zvijezda. To je spektralna dvojna kod koje svaka komponenta ima približno po 50 sunčevih masa. Kod ovih zvijezda se opaža izbacivanje materije i to ukazuje da su u veoma nestabilnom stanju.

## 2.5 RADIUSI ZVIJEZDA

Kada zvijezde posmatramo i sa najvećim teleskopima njihovi likovi su i dalje tačkasti. Razlog su ogromne i nezamislive udaljenosti na kojima se one nalaze. S toga, posmatranje nekih zvjezdanih diskova na današnjem stepenu tehnologije nije moguće. Samim tim i određivanje radiusa zvijezda nije jednostavno. Najprecizniji metodi su ugaona mjerenja pomoću uređaja koji se nazivaju optički interferometri. Prvi takav uređaj konstruisali su A.Majklson i F. Piz (Albert Michelson i Francis Pease) koristeći, tada, najveći na svijetu 2.5 metarski teleskop opservatorije Mt.Vilson.

Na sljedećoj stranici dat je crtež (Sl.2.5) Michelson-Pease-ovog interferometra. Kao što je na slici vidljivo, na prednjem dijelu teleskopa smještene su na rastojanju D (u slučaju Mt. Vilsonovog teleskopa to rastojanje je bilo 6 metara i kasnije povećano do 15 m) dva ravna ogledala, na koja pada svjetlost mjerene zvijezde. Sistemom ogledala dva lika zvijezde najprije putuju odvojeno, a zatim se ponovo spajaju, pri čemu se stvara interferentna slika. Mjerenjem ove slike, lako se dolazi do dovoljno tačnih podataka o ugaonom prečniku zvijezda. U tabeli 2.1 dati su ugaoni prečnici nekih zvijezda dobijeni interferometrom. Na osnovu udaljenosti u drugoj koloni dati su i pravi prečnici (prečnik Sunca je uzet kao jedinica). Iz podataka je očito da se radi o džinovskim zvijezdama.



Sl.2.5. Michelson-Pease-ov interferometar. Na slici su:  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$ ,  $M_4$  i  $M_5$  - ravna ogledala,  $F$  - fokus teleskopa.

TABELA 2.1.

Zvijezda	Ugaoni prečnik	Udaljenost u parsecima	Radius $R/R_{\odot}$
$\theta$ Cet	0".048	250 (?)	(1290)
$\alpha$ Ori	0 .041	91	430
$\alpha$ Sco	0 .040	71	330
$\beta$ Peg	0 .021	50	131
$\alpha$ Tau	0 .020	20	46
$\alpha$ Boo	0 .020	11.5	27

Drugi metod koji se koristi za mjerenje prividnog prečnika zvijezde, zasniiva se na mjerenju interferencione slike, koja nastaje kada zvijezda bude zaklonjena mjesečevim diskom (okultacija). Danas se ovakva mjerenja vrše fotoelektričnim fotometrima.

Radiusi se mogu posredno mjeriti i na osnovu Stefan-Bolcmanovog zakona  $E = \sigma T^4$ . Ako je radius zvijezde  $R$  onda je njena površina jednaka  $4\pi R^2$  ( $\text{cm}^2$ ). Svaki kvadratni centimetar zrači energiju  $\sigma T^4$ , gdje je  $T$  temperatura površine zvijezde. Ukupno zračenje zvijezde u jednoj sekundi, tj. njen sjaj je jednak:

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4$$

Prema tome, ako poznajemo sjaj zvijezde (ili apsolutnu bolometarsku zvjezdanu veličinu) i njenu površinsku temperaturu, lako možemo odrediti i radius.

Radiusi većine zvijezda ne razlikuju se suviše od sunčevog. Pored gigant-  
tskih zvijezda, kakve su one na prethodnoj tabeli, postoje i patuljaste. Tako  
zvijezda Van Maanena ima radius od svega 0.007 radiusa Sunca.

## 2 . 6 . Z V J E Z D A N I S P E K T R I

Prva spektralna posmatranja su 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 talasne dužine. Utvrđeno je da postoje najraznovrsniji spektri ali se ipak mogu uočiti neke pravilnosti. Osnovna osobina zvjezdanih spektara je njihova linearnost. Ona se sastoji u sljedećem. Ako sebi zamislimo dva spektra koji se međusobno veoma razlikuju, uvijek ćemo moći da nađemo dovoljan broj drugih zvjezdanih spektara koji su smješteni između ova dva. Na taj način je prelaz od jednog ka drugome postepen.

Ova linearnost ukazuje na to da se razlike u spektrima zvijezda ne mogu tumačiti hemijskim sastavom zvijezda (izuzev nekih specijalnih slučajeva). Naime, ako bi se zvijezde mnogo razlikovale po svom hemijskom sastavu, onda bi moglo doći do najrazličitijih kombinacija u prisutnim količinama raznih hemijskih elemenata. Ako bi to bilo tako onda spektri ni u kom slučaju ne bi činili neki linearni niz. Praktično bi se moglo zamisliti beskonačno mnogo raznih spektara koji bi zavisili od procentnog sastava svakog elementa.

Ustanovljena linearnost pokazuje da spektri zvijezda zavise uglavnom od jednog faktora. To je temperatura. Da bismo pokazali kako se sprovodi uticaj temperature na spektar zvijezde reći ćemo nešto o mehanizmu nastanka apsorpcionih linija. Kada atom primi izvjesnu količinu svjetlosne energije (kvant svjetlosti date frekvencije) on prelazi u pobuđeno stanje. Ovakvo stanje se manifestuje time što njegov vanjski elektron dolazi u stanje više energije: u kome ostaje kraće vrijeme. Zatim se elektron vraća u prvobitno stanje



emitujući pri tome kvant svjetlosne energije. Pravac u kome se vrši zračenje kvanta svjetlosti može biti ma koji, a svaki od pravaca je slučajan. Svjetlost sa površinskih dijelova zvijezde prolazi kroz nešto hladniju atmosferu koja je okružuje i čiji atomi je upijaju shodno Kirhofovom zakonu. Zbog toga se na odgovarajućim mjestima u spektru zvijezde mogu vidjeti tamne apsorpcione linije. Ako atom upije kvant veoma visoke energije onda se može desiti da se vanjski elektroni potpuno otrgnu od atoma koji tada prelaze u jonizovano stanje. Što je temperatura zvijezde veća, to svjetlosni kvanti imaju višu frekvenciju, odnosno; veću energiju. Poznata Plankova formula koja povezuje ove veličine glasi:

$$E = h \nu$$

gdje je  $E$  energija kvanta svjetlosti frekvencije  $\nu$  a " $h$ " je Plankova konstanta.

Različite temperature povlače za sobom i različite spektre. Tako kod zvijezda čija temperatura nije visoka ( $3000^{\circ}\text{C}$ ) mogu postojati i neka hemijska jedinjenja kao što je titanov oksid. Pošto molekuli općenito upijaju širi dijapazon talasnih dužina to će se u spektrima takvih zvijezda opažati apsorpcione trake.

Zakonomjernost niza zvjezdanih spektara navela je astronome da ih klasifikuju. Danas se koristi takozvana Harvard klasifikacija. Pojedini spektralni tipovi se označavaju slovima:

$$O - B - A - F - G - K - M - \begin{matrix} R - N \\ - S \end{matrix}$$

Da bi se lakše zapamtio ovaj niz slova oni koji poznaju engleski mogu koristiti sljedeću rečenicu: "Oh Be A Fine Girl Kiss Me Right Now Sweetheart". Početna slova riječi iz ove rečenice daju spektralni niz Harvardske klasifikacije. Ovo je samo gruba podjela jer se svaka klasa dijeli na deset podklasa koje se označavaju pripadnim slovom i brojem. Tako postoje zvijezde tipa A0, A1, A2, ..., F0, F1, itd. Takođe se dodaju posebne oznake ako je zvijezda gigant (g) ili patuljak (d). Uz supergigante se dodaje oznaka c. Ako na primjer, imamo oznaku gM2 to znači gigant tipa M2. Sada ćemo opisati osnovne karakteristike pojedinih spektralnih klasa.

#### Tip O

Zvijezde ovog tipa imaju površinsku temperaturu do  $50\ 000^{\circ}\text{C}$ . U spektrima im se vide apsorpcione linije višestruko jonizovanih atoma helijuma, silicijuma, azota i kiseonika. Kod nekih plavih zvijezda tipa O mogu se opaziti emisione linije helijuma i vodonika. Podtipovi ovih zvijezda koji se označavaju Oa, Of i Oc poznati su kao Wolf - Rajetove zvijezde. Njihove površinske temperature dostižu i  $100\ 000^{\circ}\text{C}$ .

Tip B0

Za ovu klasu karakteristične su intenzivne linije jonizovanog helijuma, pa ih često nazivaju helijumske zvijezde. Opažaju se i linije trostruko jonizovanog silicijuma i nešto jače linije vodonika. Temperatura ovih zvijezda kreće se oko  $25\ 000^{\circ}\text{C}$ .

Tip A0

Površinska temperatura iznosi im  $11\ 000^{\circ}\text{C}$ . Linija vodonika dostiže maksimalnu jačinu. Pojavljuje se i magnezijum i silicijum, a vidljive su linije željeza, titana i kalcijuma. Spektar ovog tipa pored ostalih zvijezda ima Vega.

Tip F0

Za ove zvijezde je značajno da su im linije dva puta jonizovanog kalcijuma intenzivne, a ističe se i jonizovano željezo. Temperatura ovih žućkastih zvijezda kreće se oko  $7600^{\circ}\text{C}$ . Tipični predstavnici su Kanopus i Procion.

Tip G0

Ovo su žute zvijezde sa temperaturom od  $6000^{\circ}\text{C}$ . U ovu klasu spada i Sunce (tip G2). Linije kalcijuma su jako intenzivne, a spektar je bogat mnogobrojnim metalnim linijama.

Tip K0

Kod ovog tipa opažaju se široke linije kalcijuma. Pojavljuju se i trake titanovog oksida. Imaju temperaturu od  $5100^{\circ}\text{C}$ . Aldebaran pripada ovoj klasi.

Tip M0

Neutralni metali imaju intenzivne linije. Titanov oksid zapaža se u još većoj mjeri. Temperatura je  $3600^{\circ}\text{C}$ , a predstavnik ovog tipa je Betelgez.

Tipovi R i N

To su tzv. ugljikove zvijezde čije spektre karakterišu trake molekularnog ugljika i nekih njegovih jedinjenja. Temperatura im se kreće oko  $3000^{\circ}\text{C}$ . Većinom su ovo gigantske promjenljive zvijezde.

Tip S

Temperature ovih zvijezda su oko  $3000^{\circ}\text{C}$ , a ističu se trakama cirkonijevog oksida. U ovu klasu spada duoperiodična promjenljiva R Andromede.

## 2.7 HERTZSPRUNG - RUSSELOV DIJAGRAM

Već smo ranije, govoreći o temperaturama zvijezda i njihovim spektralnim tipovima, uočili da postoji veza između tih fizičkih veličina. To znači da

poznavajući recimo spektralni tip zvijezde lako možemo naći temperaturu ili indeks boje. Isto vrijedi za poznavanje bilo koje od tri veličine. Isto tako je poznata zavisnost mase i sjaja zvijezde. Bilo je zanimljivo provjeriti postoji li neka zavisnost između spektralnog tipa i sjaja zvijezde. Ovim problemom pozabavili su se Hertzsprung i Russel i došli do interesantnih zaključaka, koji su vodili postavljanju njihovog čuvenog dijagrama. Dijagram je konstruisan tako, što je po horizontalnoj osi nanesen niz spektralnih klasa a na vertikalnoj apsolutni sjaj.

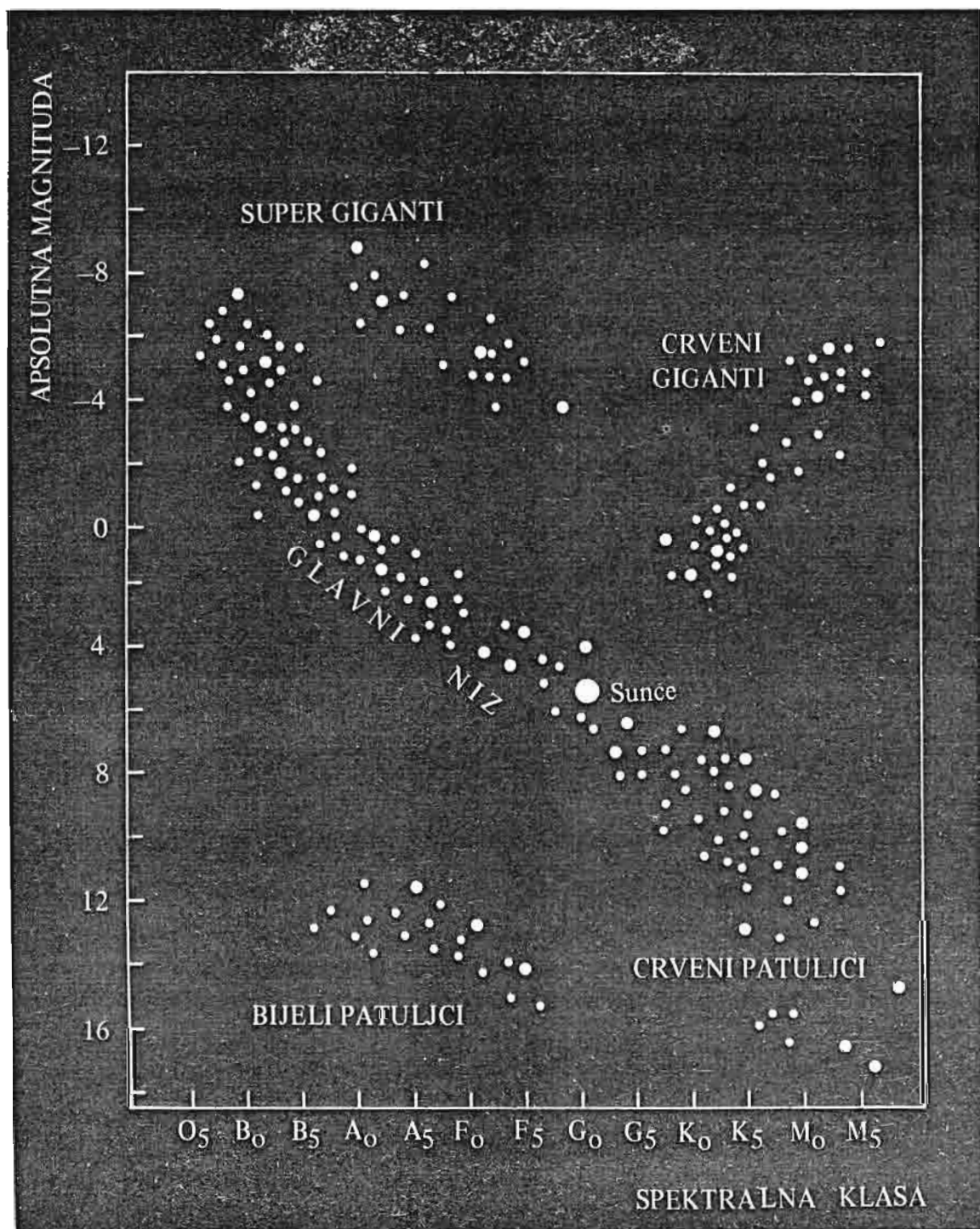
Za svaku zvijezdu znajući njen spektralni tip i odredivši na neki način njen apsolutni sjaj, možemo na dijagramu naći jednu tačku. U slučaju da radimo sa većim brojem zvijezda onda dobijemo čitav niz tačaka, i vrlo je važno vidjeti kako su te tačke rasporedene. Kad bi između spektralnog tipa i apsolutnog sjaja zvijezde postojala neka tijesna veza, tada bi se gotovo sve tačke koje predstavljaju zvijezde rasporedile duž neke krive. Ako takve zavisnosti nema onda bi raspored tačaka po čitavom području dijagrama bio manjeviše ravnomjeran. Pokazalo se da u stvarnosti imamo posla sa trećom mogućnošću tj. da postoji zavisnost pomenutih veličina ali ta zavisnost ima složen karakter. Zato se zvijezde na dijagramu raspoređuju po oblastima a u nekim dijelovima ih uopšte nema.

Prvi pogled na dijagram (Sl.2.6) govori nam da se zvijezde koncentrišu duž pet traka dok ih na drugim mjestima nema. Svaka od ovih traka predstavlja neki niz tačaka (zvijezda) pa su po tome i dobile ime. Najduži niz, koji se neprekinut prostire od spektralnog tipa O do vrlo crvenih zvijezda (tip M8), prepun je zvijezda, a naziva se glavni niz. Većina zvijezda naše galaksije ulazi u sastav tog niza a među njima je i naše Sunce.

Ispod glavnog niza smješten je niz podpatuljaka. Te zvijezde zrače prosječno 4 do 5 puta manje svjetlosti od zvijezda glavnog niza. Još niže, prema lijevom donjem uglu nalaze se bijeli patuljci ili niz bijelih patuljaka. Poznato je da su to zvijezde malog sjaja a velike gustine materije. Sa glavnog niza, od mjesta gdje se nalaze zvijezde spektralnih klasa F i G, odvaja se grana crvenih giganta. Na samom vrhu dijagrama smješten je niz supergiganta, zvijezda izuzetno visoko sjaja, u koji ulaze zvijezde svih spektralnih tipova.

Danas još uvijek nisu poznati pravi razlozi ovakvog rasporeda zvijezda. Zato se dijagram može interpretirati na razne načine. Bitno je pomenuti da dijagram vrijedi samo za jednu ograničenu oblast, konkretno bližu okolinu Sunca. U drugim dijelovima galaksije mogu da vrijede i drugačiji dijagrami. Takođe H-R dijagram ima u sebi izvjestan stepen proizvoljnosti jer činjenica je da broj zvijezda koje pripadaju nekom od nizova nije tako lako odrediti. Po pravilu zvijezde supergiganti su ogromnog sjaja, pa se mogu vidjeti i sa velikih udaljenosti za razliku od, recimo, patuljastih zvijezda, čiji je sjaj neznan u poređenju s njima.

Ipak ovaj dijagram je od ogromnog značaja za astronomiju i posebno za



Sl.2.6. Hertzsprung - Russel-ov dijagram

problematiku evolucije zvijezda. No, da bi se na tom području postigli konkretniji rezultati neophodno je dalje poboljšavanje tačnosti H-R dijagrama.

Često se umjesto ovakvog dijagrama, spektralna klasa - apsolutni sjaj, može napraviti dijagram indeks boje - apsolutni sjaj. Obzirom na poznatu zavinost spektralnog tipa i indeksa boje jasno je da se u principu radi o istoj stvari. Ovakvi dijagrami se naričito prave za pojedine ograničene koncentracije zvijezda, kao što su rasijani skupovi i kuglasti skupovi zvijezda. Može se smatrati da je tačnost ovakvih dijagrama po pravilu veća, a moguće je dobiti i vrlo tačne ocjene broja zvijezda u pojedinim dijelovima dijagrama. Naime, udaljenosti između pojedinih zvijezda nekog skupa su zanemarljivo male u poređenju sa njihovom udaljenošću od Sunca. Onda prividni sjaj koji mjerimo praktično nam je jednak apsolutnom sjaju sa dodatnom korekcijom neke konstante. Znači ako je jedna zvijezda u skupu sjajnija od druge to znači da je ona stvarno sjajnija. Takođe, mi možemo u nekom skupu dovoljno bliskom da mjerimo veliki broj zvijezda pa je usljed toga tačnost veća.

## 2.8 PRITISAK I TEMPERATURA U SREDIŠTU ZVIJEZDA

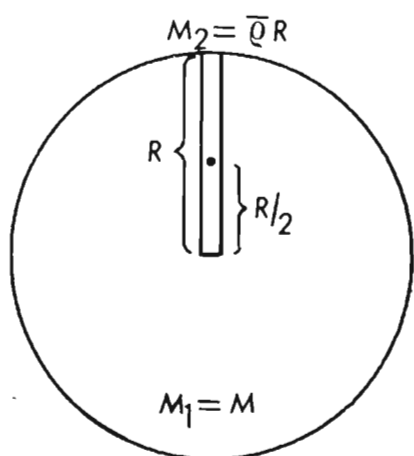
Znamo da se većina zvijezda, koje smatramo normalnim, nalazi u nekoj vrsti ravnotežnog stanja. To su gasovite lopte čiji se radius u dužim vremenskim razmjerima ne mjenja odnosno, nema onih naglih ili periodičnih promjena kakve se sreću kod promjenljivih zvijezda. Ova gasovita lopta koja predstavlja zvijezdu sastoji se od ogromnog broja čestica - atoma, jona i elektrona. Znamo da se prema univerzalnom zakonu gravitacije sve čestice međusobno privlače silom koja je proporcionalna njihovim masama a obrnuto proporcionalna kvadratu rastojanja između njih. To se može izraziti formulom:

$$F = f \frac{M_1 M_2}{r^2} \quad (1)$$

gdje je  $F$  sila gravitacije među česticama, masa  $M_1$  i  $M_2$  koje se nalaze na rastojanju jedna od druga  $r$ .  $f$  je konstanta gravitacije.

Privlačna sila između pojedinih atoma ili drugih čestica je mala ali krajnja rezultanta sila za ogroman broj čestica postaje veoma velika. Pod djelovanjem gravitacije zvijezda se skuplja odnosno, njene čestice "padaju" ka centru. No, već smo primjetili da je naša zvijezda stabilna tj. da takva kretanja ne postoje. Iz toga proizlazi da mora postojati neka sila koja se suprotstavlja gravitaciji i ima suprotan smjer. Ta sila je sila pritiska gasa. Ona teži da gas raširi za razliku od gravitacije koja ga skuplja. Jasno da će zvijezda biti u stabilnom stanju kada se ove dvije sile uravnoteže.

Da bi smo čitav problem razmotrili, jednostavnim matematičkim aparatom, posmatračemo stubac materije zvijezde cilindričnog oblika sa poprečnim



Sl.2.7. Uz izračunavanje pritiska u središtu zvijezde

presjekom od  $1 \text{ cm}^2$  (Sl.2.7). Neka se ona pruža od središta do periferije zvijezde. Izgled stubca dat je na slici 2.7. Pritisak koji postoji blizu centra mora da drži ravnotežu sa težinom našeg stubca. Neka  $M_1$  iz gornje formule za gravitaciju bude u našem slučaju označeno sa  $M$  i neka predstavlja masu čitave lopte (zvijezde).

$M_2$  neka je masa stubca. Sa  $\bar{\rho}$  označićemo srednju gustinu gasa u stubcu. Znamo da gustinu možemo izraziti iz formule  $M_2 = \bar{\rho} \cdot R$  gdje je  $R$  radius sfere.  $R$  nam ovdje, ustvari, predstavlja volumen stubca jer je poprečni presjek  $1 \text{ cm}^2$  pa kada ga pomnožimo sa visinom tj.  $R$ , ostaje nam samo  $R$ . Rastojanje između središta sfere i središta stupca je  $R/2$ . Težina stupca (označićemo je sa  $p$ ) iznosiće:

$$p = f \frac{M \bar{\rho} R}{(R/2)^2} = 4f \frac{\bar{\rho} M}{R} \quad (2)$$

Ova formula je samo približna, jer smo zanemarili činjenicu da se razni dijelovi stuba privlače različitim silama. Oni gornji dijelovi trpe privlačnije čitave kugle, a oni oko središta privlačeni su samo centralnim zonama kugle. Da bismo formulu poboljšali, odnosno učinili je tačnijom, trebalo bi poznavati raspored gustine materije unutar zvijezde i još neke stvari. U ovom razmatranju to ćemo zanemariti jer nam je bitna samo suština pojave.

Formula za težinu stupca (2), treba da bude jednaka gasnom pritisku u blizini središta sfere. Kada uvrstimo vrijednost mase, radiusa i gustine Sunca, dobićemo podatak da u blizini njegovog središta postoji pritisak od  $7 \cdot 10^{10}$  atmosfera.

Iz fizike nam je poznato da postoji veza gasnog pritiska sa njegovom temperaturom i zapreminom. Postoji tzv. Klapejronov zakon ili zakon gasnog stanja. On kaže da je proizvod volumena jednog gram molekula gasa i njegovog pritiska jednak univerzalnoj gasnoj konstanti pomnoženoj sa temperaturom:

$$p \cdot V = AT \quad (3)$$

A ima vrijednost od  $8.3 \cdot 10^7$  erg/mol stepen. Za naše razmatranje pogodnije je formulu (3) napisati u nešto drugačijem obliku. Sa  $\mu$  ćemo označiti

molekularnu težinu zvjezdanog gasa ili, što je isto, težinu jednog gram molekula zvjezdane materije. Tada je gustina zvjezdane materije  $\rho = \mu/V$  i Klapejronovu jednačinu možemo napisati u obliku:

$$p = \frac{A}{\mu} \rho T \quad (4)$$

Ogroman pritisak u središtu naše zvijezde može biti uzrokovan bilo velikom temperaturom bilo izuzetno velikom gustom. Takođe je moguće da su oba uzroka sjedinjena zajedno. Srednja gustina našeg Sunca i većine drugih zvijezda je mala. Vanjski slojevi zvijezda su jako razrijeđeni, dok su unutrašnjosti znatno gušće, no, u svakom slučaju, nisu toliko visoke da bi izazvale ovako ogromne pritiske. Iz ovih zaključivanja izuzimaju se neke zvijezde kao što su recimo bijeli patuljci ili crveni giganti. Njihova građa je složenija. Prethodno razmatranje navodi nas na pretpostavku da je ogromni pritisak u unutrašnjosti zvijezda izazvan visokim temperaturama. Te temperature se lako mogu odrediti kada iz Klapejronove formule određeni pritisak izjednačimo sa težinom stupca:

$$p_c = \frac{A}{\mu} \cdot \rho_c \cdot T_c = 4f \frac{\bar{\rho} M}{R} \quad (5)$$

Ovdje su  $\rho$  i  $T_c$  gustina i temperatura u središtu kugle. U formuli, kako vidimo, figurišu srednja i centralna gustina. Postavlja se pitanje koliko je gustina u središtu veća od srednje gustine. Detaljna teorijska istraživanja daju odgovor na ovo, a mi ćemo ovdje uzeti da je odnos  $\rho_c = 4\bar{\rho}$ . Time se rješavamo četvorke iz formule (5), a pokazuje se da ovakva aproksimacija odgovara stvarnom stanju. Time konačno dolazimo do formule za temperaturu u središtu zvijezde:

$$T_c = \frac{\mu f M}{AR} \quad (6)$$

Dakle, poznavajući masu zvijezde, radius i molekularnu težinu zvjezdane materije, možemo doći do vrijednosti temperature u njenom centru. Dodatnom teorijskom analizom, u koju ovdje nećemo ulaziti, moguće je odrediti molekularnu težinu. Kada se uvrste vrijednosti, za Sunce se dobije temperatura središta od 14 miliona stepeni. Vega ima 18 miliona, Procion 8, itd.



2.9 IZVORI ZVJEZDANE ENERGIJE

Postojanje ogromnih količina energije kod zvijezda, svakako, nameće pitanje uzroka njihovog nastanka. Ta energija je morala iz nečega nastati. Pokazalo se da energiju zvijezda nije moguće objasniti nikakvim jednostavnim mehaničkim ili hemijskim uzrokom. Jedini procesi koji, u velikim vremenskim intervalima mogu osigurati dovoljne količine energije predstavljaju termonuklearne reakcije. Takvih reakcija ima dosta, no, danas se smatra da u slučaju Sunca i njemu sličnih zvijezda izvore energije obezbjeđuje lančana reakcija poznata kao ugljično - azotni ciklus. Do njega su nezavisno jedan od drugog došli Hans Bethe u SAD i C. Weizsacker u Njemačkoj. Taj ciklus može se podijeliti na šest etapa, i svaka ima određen interval trajanja. Formule ciklusa su predstavljene na 95 stranici.

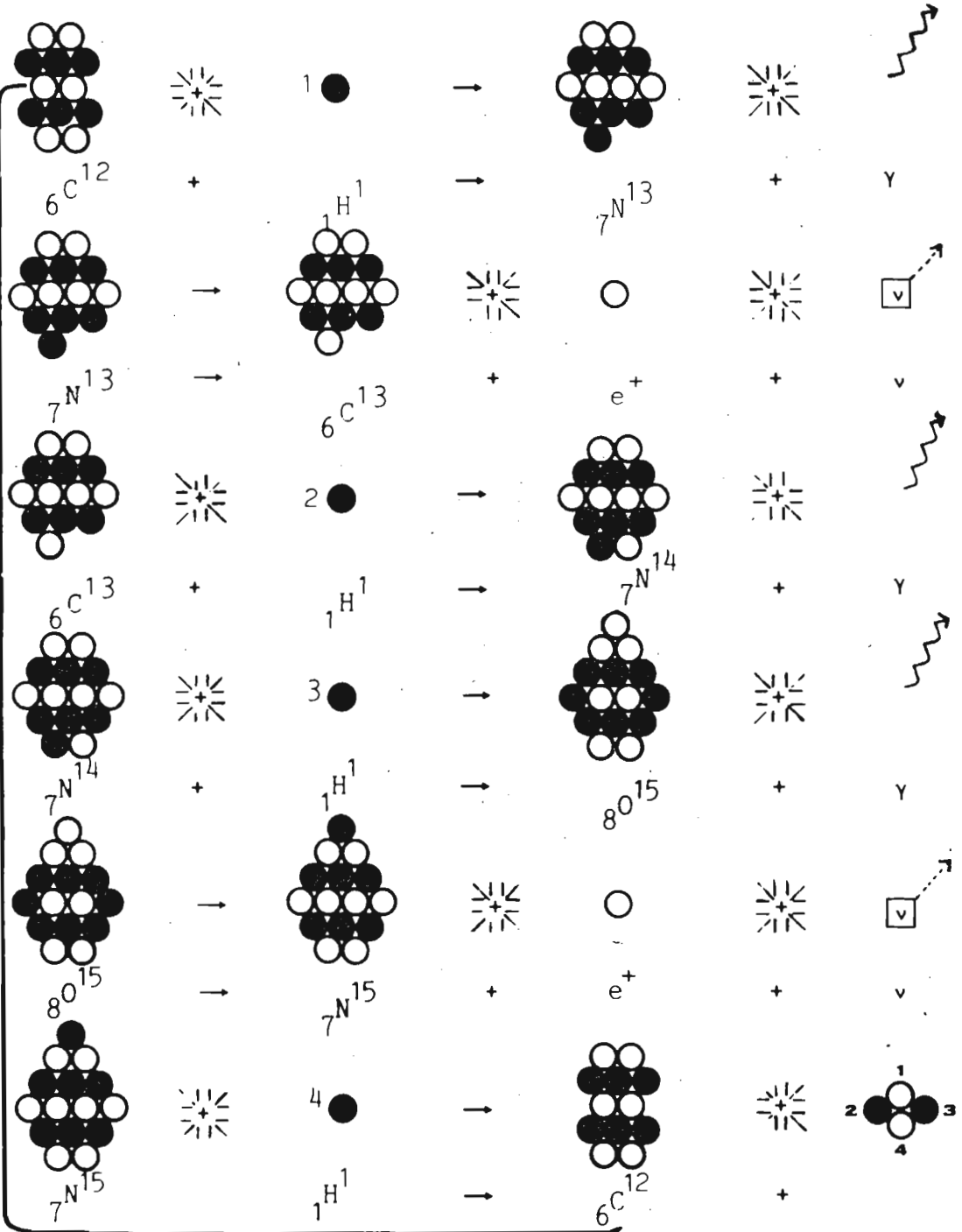
Ciklus počinje tako što brzi proton ( $H^1$ ) prodire u jedro ugljenika, ostavši tamo zadržan nuklearnim silama. Tim procesom nastaje nestabilni izotop azota sa atomskom težinom 13. On se nakon 7 minuta raspada na stabilniji izotop ugljenika iste atomske težine. Ovaj posljednji izotop zahvata proton prelazeći u azot koji, opet, zahvata proton pa tako dolazimo do kiseonikovog izotopa koji je vrlo nestabilan i raspada se nakon 82 sekunde. On prelazi u stabilan izotop azota. Ovaj izotop, zahvatajući brzi proton, transformiše se u obični izotop ugljenika, oslobadajući jedro helijuma. Zatim ciklus počinje iznova. U ovom ciklusu, očigledno, ugljenik i azot služe kao katalizatori, a konačan je rezultat da se iz četiri protona formiralo jedro helijuma i oslobodila izvjesna količina energije. U formulama na str. 95,  $\gamma$  predstavlja gama zračenje,  $\nu$  neutino, a  $\beta^+$  pozitron. Za ovaj ciklus je neophodno da su temperature u središtu zvijezde veće od 15 do 16 miliona stepeni. U slučaju Sunca to je, uglavnom, zadovoljeno.

Moglo bi se konstatovati da termonuklearni izvori energije, uglavnom, mogu obezbjeđivati energiju svih zvijezda na glavnom nizu Hertzsprung - Russellovog dijagrama. Pored opisanog ciklusa, postoje i drugi termonuklearni procesi koji obezbjeđuju energiju.

2.10 DVOJNE ZVIJEZDE

Činjenica da se neke zvijezde, gledane golim okom ili malim teleskopom, nipočemu ne razlikuju od ostalih, a da se u većem instrumentu vide kao dvojne ili višestruke, bila je poznata još u 17 vijeku. Prvo otkriće jedne dvojne zvijezde za koje se zna izvršio je italijanski astronom Jean Baptiste Riccioli 1650 godine. On je "rastavio" teleskopom zvijezdu  $\zeta$  Ursae Majoris (Velikog Medvjeda), inače, poznatu kao Mizar. 1656. godine Hygens otkriva da se  $\theta$  Oriona sastoji od tri zvijezde, a 1664. godine Hooke je zapisao da se  $\gamma$  Ovna sastoji od dvije zvijezde.

UGLJIČNO - AZOTNI CIKUS

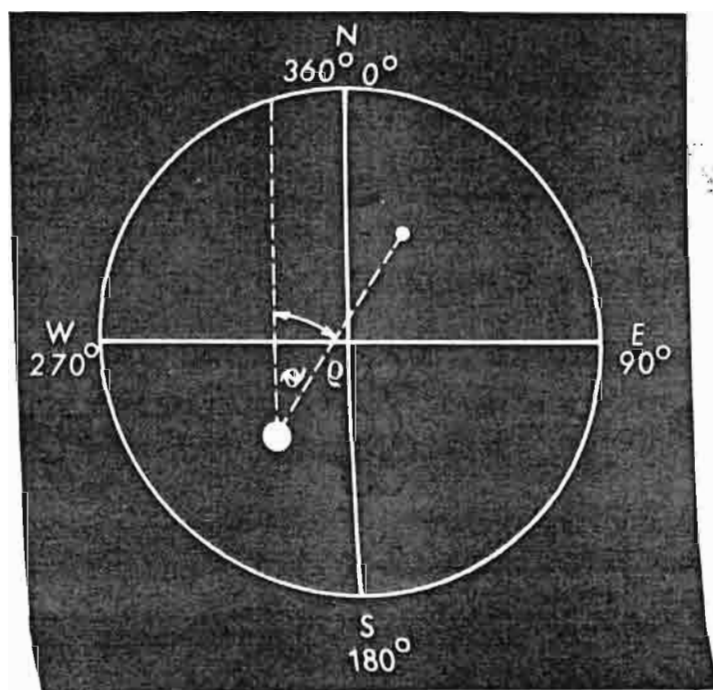


Radovima Christiana Mayera i Sir Wiliama Herchela možemo smatrati da počinje prava istorija dvojnih zvijezda. Prvi katalog dvojnih zvijezda, koji je sadržavao 269 zvijezda, objavio je 1782. godine W.Herchel. Ono što je najznačajnije kod njegovih posmatranja je činjenica da je, u toku dugogodišnjeg izučavanja dvojnih zvijezda, došao do sigurnih dokaza da se komponente u tim sistemima kreću, odnosno mjenjaju svoje relativne položaje. Pažljivo uzimajući u obzir moguće greške posmatranja, Heršel je zaključio da je najosnovnija pretpostavka da opažene promjene položaja komponenti dvojnih zvijezda imaju kao uzrok njihovo orbitalno kretanje. Ovo otkriće otvorilo je u tadašnjoj astronomiji nove perspektive i omogućilo da se upotreba univerzalnog zakona gravitacije proširi daleko van granica našeg Sunčevog sistema.

U 19. vijeku, najpoznatiji posmatrač dvojnih zvijezda bio je čuveni astronom Wilhelm Struve. Kao direktor Dorpatske opservatorije u Rusiji on je publikovao katalog u kome su izmjereni osnovni elementi 795 dvojnih zvijezda. Krajem prošlog vijeka u ovoj oblasti posebno se istakao američki astronom S.W.Burnham.

Među vizuelne dvojne zvijezde, (tj. dvojne zvijezde čije komponente možemo vidjeti rastavljene manjim ili većim teleskopom) ne treba ubrajati tzv. optičke dvojne. One se po opštoj slici ne razlikuju od pravih, fizičkih 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 položaja na nebu one nam izgledaju kao par.

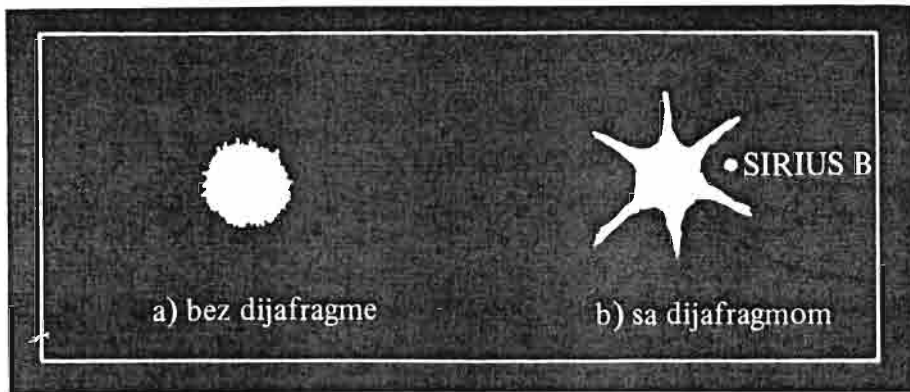
Mjerenja i posmatranja dvojnih zvijezda su relativno jednostavna. Naravno, svrsishodna mjerenja zahtjevaju preciznije uređaje i dodatne instrumente. U principu, mjerenje neke vizuelne dvojne zvijezde svodi se na mjerenje



Sl.2.8. Pozicioni ugao kod dvojne zvijezde.

rastojanja između komponenti (u jedinicama ugla) i pozicionog ugla. Obično se sjajnija komponenta smatra za primarnu zvijezdu, a ona slabijeg sjaja za sekundarnu. Pozicioni ugao je ugao između pravca od primarne zvijezde ka sjevernom nebeskom polu i pravca koji spaja primarnu i sekundarnu komponentu dvojnog sistema. Na crtežu 2.8 prikazano je vidno polje nekog teleskopa u kome se nalazi dvojna zvijezda. U svakom takvom vidnom polju moguće je razlikovati četiri tačke koje odgovaraju sjeveru, istoku, jugu i zapadu. Sjevernoj tački (N) odgovara pozicioni ugao od  $0^\circ$ , istočnoj (E)  $90^\circ$ , južnoj (S)  $180^\circ$  i zapadnoj (W)  $270^\circ$ .

Na slici 2.8,  $\theta$  predstavlja pozicioni ugao, a  $\rho$  rastojanje. Obje ove veličine se obično mjere mikrometrom, uređajem sa dvije ili više paralelnih i normalnih paukovih niti, razapetih u fokus okulara. Posebnim mikrometarskim zavrtnjima moguće je pomjerati niti i na postojećim podjelama direktno očitavati. Kod posmatranja dvojnih sistema neophodno je koristiti što je moguće veća uvećanja, jer ćemo time moći razdvojiti i vrlo bliske zvijezde. Naravno, veća uvećanja utiču na lošiji kvalitet slike, pa se, obično, nađe dobar balans između ova dva bitna zahtjeva. U slučajevima kada je pratilac neke zvijezde vrlo slabog sjaja, a ujedno jako blizu nje (np. pratilac Siriusa, Prociona, itd.), tad je korisno ispred objektiva postaviti dijafragmu u obliku šesterougla. Lik zvijezde će tada biti znatno manji sa šest simetrično raspoređenih zraka, između kojih će biti praznine u kojima možemo opaziti sjajnog saputnika. To je prikazano na slici 2.9. Lijevo se vidi lik Siriusa bez



Sl.2.9.

upotrebe dijafragme. Zbog njegove veličine, slabi pratilac se ne vidi, on se gubi u toj svjetlosti. Na desnom dijelu slike zapaža se difrakcioni lik Siriusa sa šest zraka između kojih se vidi i pratilac. U tom slučaju upotrebljena je dijafragma izrezana u obliku šesterougla.

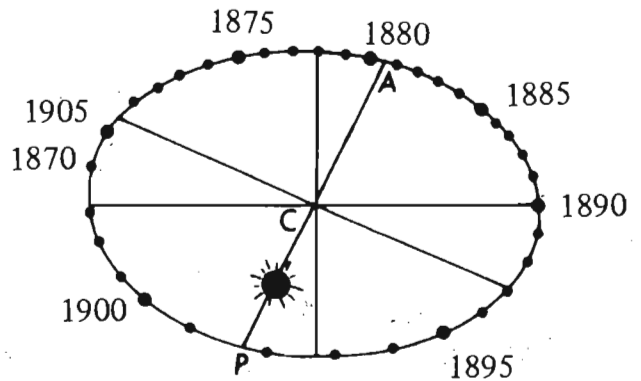
Za mjerenje dvojnih zvijezda moguće je koristiti i fotografiju. Ona je posebno dobra kada se radi o sistemima sa dovoljno razdvojenim komponentama. Tada razni fotografski efekti ne unose nikakve veće greške u mjerenja.

Već smo pomenuli da kod većeg broja dvojnih zvijezda u dužem vremenskom periodu opažamo orbitalna kratanja. Najjednostavniji je slučaj kada se radi o

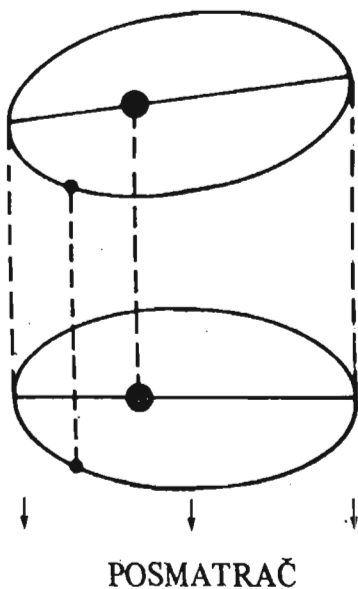
jednoj zvijezdi velike mase oko koje obilazi saputnik male mase. Orbita saputnika tada ima oblik elipse u čijoj je jednoj žiži smještena glavna zvijezda. Na lici 2.10, prikazan je sistem  $\zeta$  Herculis. Period obilaska saputnika iznosi oko 35 godina.

U opštem slučaju, orbita je projekcija istinske orbite sistema, jer samo u specijalnom slučaju mi gledamo normalno na ravan kretanja saputnika oko masivnije zvijezde. U svim ostalim slučajevima mi orbitu posmatramo pod nekim uglom. Na slici 2.11, prikazane su istinska orbita i njena projekcija na nebesku sferu.

U specijalnom slučaju može se desiti da se orbita u odnosu na pravac posmatranja postavi normalno, tako da se vidljiva i istinska orbita poklapaju. Za određivanje istinske orbite potrebno je doći do većeg broja podataka kao što su period obilaska saputnika, njegov momenat prolaza kroz bližu tačku u odnosu na zvijezdu koja je u žiži orbite i tako dalje. Periodi obilaska saputnika oko glavnih zvijezda ili period obilaska komponenti dvojnih zvijezda oko zajedničkog težišta su obično veliki.



Sl.2.10. Sistem  $\zeta$  Herculis.



PRAVA ORBITA

VIDLJIVA ORBITA

POSMATRAČ

Sl.2.11. Orbita dvojnog sistema.

Kod većine mogu se mjeriti hiljadama godina. Ukoliko se radi o sistemu tri ili više zvijezda, onda su orbite tako složene da se mogu rješavati samo aproksimativno.

Mnoge vizuelne dvojne zvijezde imaju komponente različitih boja. U većini slučajeva radi se o fiziološkim efektima koje proizvodi ljudsko oko. U drugim slučajevima radi se o zaista različitim spektralnim tipovima komponenti. Među najpoznatije

dvojne zvijezde ovog tipa spada Albireo,  $\beta$  Labuda. Jedna njegova zvijezda je žuta, a druga zelenkasto plava.

## 2.11 SPEKTRALNE DVOJNE ZVIJEZDE

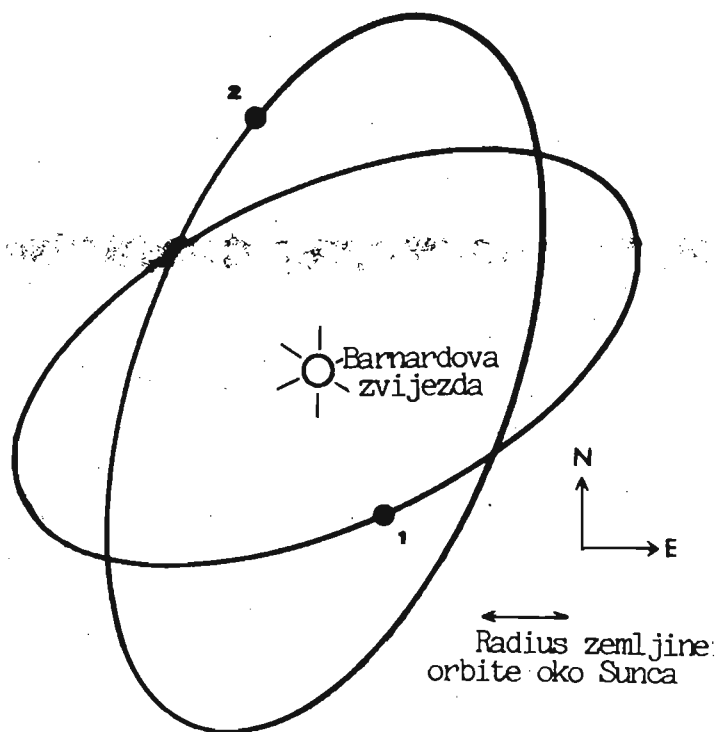
Ako se dvije zvijezde nalaze veoma blizu jedna drugoj, onda se njihove komponente ne mogu vidjeti odvojeno ni najvećim teleskopima. Spektri ovakvih zvijezda pokazuju povremeno razdvajanje i spajanje spektralnih linija. Ap-sorpcione linije su jedno vrijeme kao i kod ostalih zvijezda. Nakon izvjesnog perioda one počinju da se cijepaju da dvije komponente, koje se postepeno udaljuju jedna od druge. Nakon nekog maksimalnog razdvajanja, linije ponovo počinju da se približavaju jedna drugoj i na kraju se spoje u jednu. To znači da se, pri kretanju oko zajedničkog težišta, zvijezde nađu na jednom pravcu u odnosu na posmatrača. Tada su linije jednostruke. U trenutku kada se zvijezde postave tako da su obje na pravcu normalnom u odnosu na posmatrača, tada su linije rascijepljene, odnosno, mi posmatramo dva spektra projektovana jedan na drugi.

Postoje metode pomoću kojih se približno mogu odrediti mase i orbite spektralnih dvojnih zvijezda. Pomoću dobijenih spektrograma može se konstruisati kriva ugao nih brzina tako, što se na horizontalnu osu nanosi vrijeme, a na vertikalnu ugao na brzina. Masa zvijezda i radius orbite ne mogu se tačno odrediti, jer kod ovakvog razmatranja oni se javljaju skupa sa sinusom ugla "i". Ugao "i" je ugao nagiba orbite prema posmatraču. Njega nije moguće odrediti, ali se može diskutovati o njemu, pretpostavivši najmanju i najveću vrijednost sinusa ugla. Iz spektrograma se mogu odrediti  $A \sin i$  i  $M \sin^3 i$ . Ako pretpostavimo da je  $i=90^\circ$  onda je  $\sin i = 1$  i dobijemo najmanje moguće vrijednosti za A i M. A je ovdje velika poluosa orbite, a M masa komponenti.

## 2.12 PLANETNI SISTEMI DRUGIH ZVIJEZDA

Ideja o postojanju vansolarnih planetnih sistema nije nova. Međutim, zbog ogromnih udaljenosti na kojima se nalaze zvijezde, teleskopski nije moguće registrovati takve planete. Optika je, u ovom, dakle, zatajila. Zakon gravitacije omogućio je neka saznanja o eventualnom postojanju planetnih sistema drugih zvijezda.

Naime, kod nekih bližih zvijezda opažene su neke periodične promjene njihovog položaja na nebu. Ta pomjeranja mogu se objasniti postojanjem jednog ili više nevidljivih saputnika, čije privlačne sile uzrokuju pomenuta pomjeranja. Period otklona je, prema tome, jednak periodu obilaska nevidljivog saputnika i na osnovu Keplerovih zakona moguće je odrediti njegovo rastojanje i masu. Pratilac zvijezde  $\beta$  Labuda (dvojni sistem udaljen 11.2 s.g.) imao bi, prema nekim proračunima masu 16 puta veću od mase Jupitera, a kretao bi se na rastojanju od 3 a.j. Oko Barnardove zvijezde bi, prema nekim



Sl.2.12. Mogući izgled orbita dvije planete oko Barnardove zvijezde. Planeta 1. imala bi masu od 70% mase Jupitera, i period obilaska od 13.5 godina. Planeta 2. sa masom od 60% mase Jupitera, zvijezdu bi obilazila za 19 godina.

mišljenjima, kružile dvije planete (sl.2.12).

Kao što vidimo, ovi planeti bi imali velike mase i ogromne dimenzije. Neki se pitaju da li bi se uopšte moglo govoriti o planetama, jer moguće je da ovi objekti imaju sačuvane neke karakteristike zvijezda. Međutim, i sama činjenica da postoje indikacije o ovakvim tijelima ukazuje na mogućnost postojanja i drugih, manjih tijela, koja bismo sigurno mogli smatrati planetama.

Ono što ne mogu u potpunosti da razrješe teleskopi smješteni na površini Zemlje, mogli bi oni izbačeni u orbitu oko naše planete. Za sada postoji nekoliko projekata koji će se realizovati u narednim godinama. Svemirski teleskop (Space Telescope) mogao bi postići tačnost od 2000 mikrosekundi (jedna mikrosekunda iznosi  $10^{-6}$  ugaonih sekundi). To je uporedivo sa najboljim mjerenjima sa Zemlje. Projekat "Hiparh", koga planira ESA (European Space Agency), bio bi astrometrijski instrument, za opšti pregled neba, i bio bi dva



puta precizniji. Koncept Višekanalnog astrometrijskog fotometra (MAP), koji je ponuden NASA-i, omogućio bi detekciju planeta mase, poput Zemljine.

## 2.13 PROMJENLJIVE ZVIJEZDE

Površno posmatranje zvjezdanog svijeta ostavlja utisak da su ova daleka sunca, strogo, konstantnog sjaja. Pažljiva ispitivanja pokazala su 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. Ranije pomenute pomračujuće dvojne zvijezde, nisu fizički promjenljive zvijezde, već do promjena sjaja dolazi zbog međusobnog zaklanjanja komponenti.

U atlasima i katalozima promjenljive zvijezde označavaju se velikim slovima, počevši od R. Tako se nižu R, S, T, U, itd. Kada se iscrpe slova, onda se vrši dubliranje, pa imamo oznake RR, RS, SS, itd. Kada se iskoriste sve kombinacije slova, onda se prelazi na oznaku V, uz koju stoji broj. Tako na primjer, V46 označava promjenljivu zvijezdu (variabilis) broj 46 u sazviježđu čije se ime napiše uz gornju oznaku. Promjenljivih zvijezda ima više vrsta. Mi ćemo se upoznati sa osnovnim tipovima.

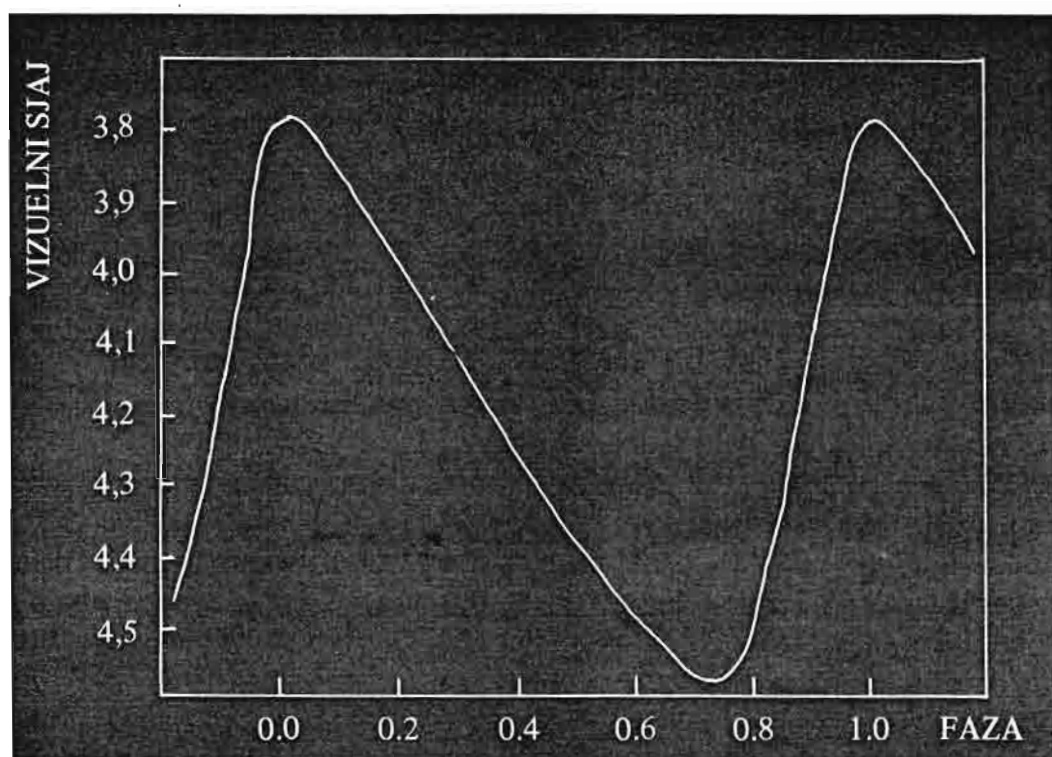
### 2.13.1 Pulsirajuće promjenljive zvijezde

U ovu veliku klasu promjenljivih zvijezda ulaze mnogobrojne grupe zvijezda. Za sve njih karakteristično je da im promjene sjaja uzrokuju manje-više pravilna pulsiranja vanjskih slojeva. Periodi tih pulsiranja mogu biti različiti. Mi ćemo se, redom, upoznati sa najpoznatijim tipovima ovakvih promjenljivih zvijezda.

#### 2.13.1.1 Cefeide

Jedna od najpoznatijih ovakvih zvijezda je  $\delta$  Cefeja. Po njoj su ostale dobile ime. Nju je otkrio još 1784. godine John Goodricke. Njen sjaj se mijenja između 3.78 i 4.63 prividnih veličina. Čitav period promjene sjaja između dva uzastopna maksimuma, odnosno, minimuma traje 5.366 dana. Na slici 2.13 prikazana je kriva promjene sjaja  $\delta$  Cefeja.

Tokom ciklusa promjene sjaja, spektar svake ovakve zvijezde doživljava promjene. U slučaju opisane cefeide, spektar se mijenja od F5 do G2. To znači da se i površinska temperatura mijenja, jer je spektralni tip direktno zavisna od površinske temperature zvijezde. Po periodima promjene sjaja cefeide se dijele na tri grupe. RR Lyrae imaju vrlo kratke periode, obično manje od jednog dana. Poznate su i kao promjenljive iz skupova, jer je veliki broj ovakvih zvijezda pronađen u sastavu kuglastih skupova. Klasične cefeide



Sl.2.13. Grafik promjene sjaja  $\delta$  Cefeja.

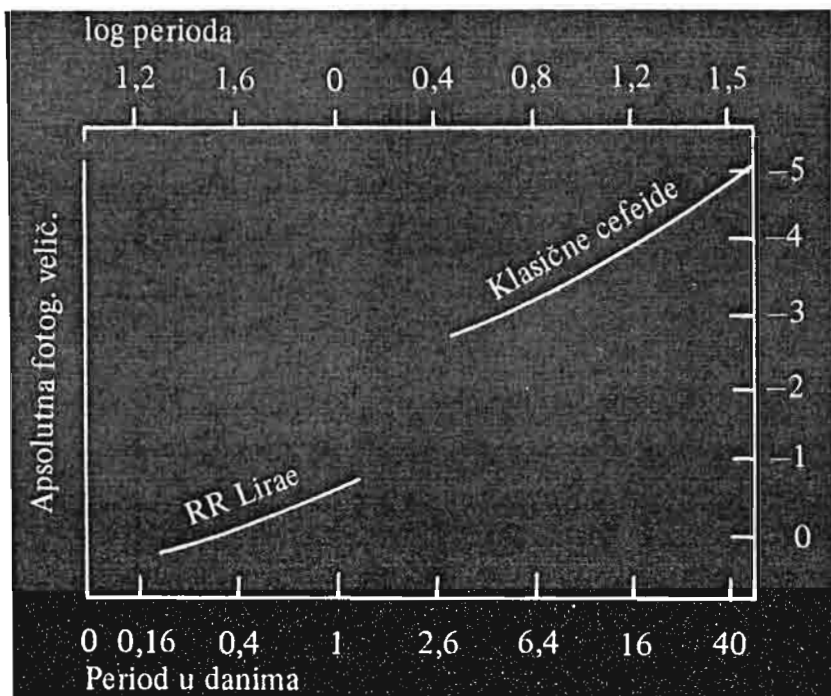
mjenjaju sjaj u periodu između 5 dana i 28 dana. Najzad, treću grupu sačinjavaju dugoperiodične cefeide čiji periodi promjene sjaja iznose preko 28 dana..

Istraživanja cefeida u Malom Magelanovom oblaku dovela su do otkrića čuvene zavisnosti "period - sjaj".

### 2.13.2 Zavisnost period-apsolutni sjaj

H.Leavitt, saradnica Harvard opservatorije, dugi niz godina proučavala je cefeide iz Malog Magelanovog oblaka. Ovaj pratilac naše galaksije nalazi se na udaljenosti od oko 160 000 s.g. Sve zvijezde koje ulaze u njegov sastav možemo smatrati jednako udaljenim, jer su njihova međusobna rastojanja zanemarljivo mala u odnosu na njihovu udaljenost od nas. Leavitt-ova je opazila da postoji veza između perioda promjene sjaja jedne cefeide, i apsolutnog sjaja iste zvijezde. Kao rezultat takvih razmatranja pojavio se dijagram, kod koga je na horizontalnu osu nanesen logaritam perioda, a na vertikalnu apsolutni sjaj. Ovaj dijagram ima ogroman značaj za određivanje zvjezdanih udaljenosti.

Ranije smo vidjeli da trigonometrijska metoda omogućava da se odrede udaljenosti samo manjeg broja bliskih zvijezda. Značaj dijagrama je u sljedećem. Ako za neku cefeidu nađemo period sjaja, onda se iz dijagrama može odrediti apsolutni sjaj. Po već poznatoj formuli  $m - M = 5 \log r - 5$ , možemo, znajući prividni sjaj "m", lako naći udaljenost zvijezde "r".



SL.2.14. Dijagram logaritama perioda - apsolutni sjaj za klasične cefeide i RR Lyrae.

Da bi se mogao pravilno postaviti dijagram, potrebno je naći nekoliko cefeida čije su udaljenosti i sjaj određeni na neki drugi način. Na žalost, u blizini Sunca nema ni jedne cefeide kod koje bi se trigonometrijski našla udaljenost. Jedina metoda za određivanje rastojanja cefeida, u našoj galaksiji, bazira se na mjerenjima njihovih radijalnih i sopstvenih kretanja. Takvim statističkim metodama, koristeći kuglaste zvjezdane skupove, Shapley je došao do određenih rezultata.

Na crtežu 2.14 dat je dijagram logaritama perioda - apsolutni sjaj za klasične cefeide. Za druge grupe cefeida dijagram je nešto drugačiji. Sa gornjeg grafikona moguće je izvesti jednu formulu koja povezuje apsolutnu fotografsku veličinu cefeide sa logaritmom njenog perioda. Ta formula glasi:

$$M_{ph} = -0.35 - 2.08 \log P$$

ili u vizuelnoj oblasti:

$$M_V = -1.18 - 2.90 \log P$$

Znajući period  $P$ , možemo, pomoću ove jednačine, naći apsolutnu fotografsku veličinu neke klasične cefeide, a time i njenu udaljenost. Za cefeide tipa W Djevice vrijedi slična zavisnost, samo što je, u prosjeku, sjaj ovih zvijezda pri istom periodu sjaja kao kod klasičnih cefeida manji za 0.5 zvjezdanih veličina.

Kasnija istraživanja pokazala su da je prvobitna ocjena udaljenosti galaktičkih cefeida bila pogrešna. To se prvenstveno odnosi na klasične cefeide kod kojih je greška u procjeni apsolutnog sjaja iznosila oko 1.5 veličina. Zbog toga se skala rastojanja morala povećati. Ona se i danas mijenja sa usavršavanjem mjernih uređaja i metoda astronomskih mjerenja.

Na pitanje zašto ove zvijezde pulsiraju nemoguće je dati neki precizan odgovor. Spektralna posmatranja potvrdila su da pri promjeni sjaja dolazi do promjene radijalnih brzina. Prema poznatom Doplerovom efektu ustanovljeno je da blizini maksimuma sjaja odgovara najveće pomjeranje linija ka ljubičastom kraju, odnosno, da se spoljni dijelovi zvijezde šire najvećom brzinom. U momentima bliskim minimumu, moguće je posmatrati suprotan efekat, tj. pomjeranje linija ka crvenom, odnosno, skupljanje zvijezde.

Prvu matematičku teoriju pulsiranja zvijezda dao je Edington. Znamo da se zvijezda, pod normalnim okolnostima, nalazi u ravnotežnom stanju. U njenoj unutrašnjosti djeluju dvije sile. Jedna je privlačna, gravitaciona sila, koja sve čestice zvijezde, koju možemo posmatrati kao gasovitu loptu, vuče ka centru. Njoj suprotna je sila pritiska gasa i zračenja. Ako se ova ravnoteža naruši, zvijezda će početi da se periodično širi i skuplja. Ovakva kolebanja vode periodičnim promjenama temperature i dimenzija svijetleće površine, odnosno fotosfere zvijezde. Sve ovo što smo opisali, onda, logično, izaziva opažene promjene radijalnih brzina, spektralnog tipa i sjaja.

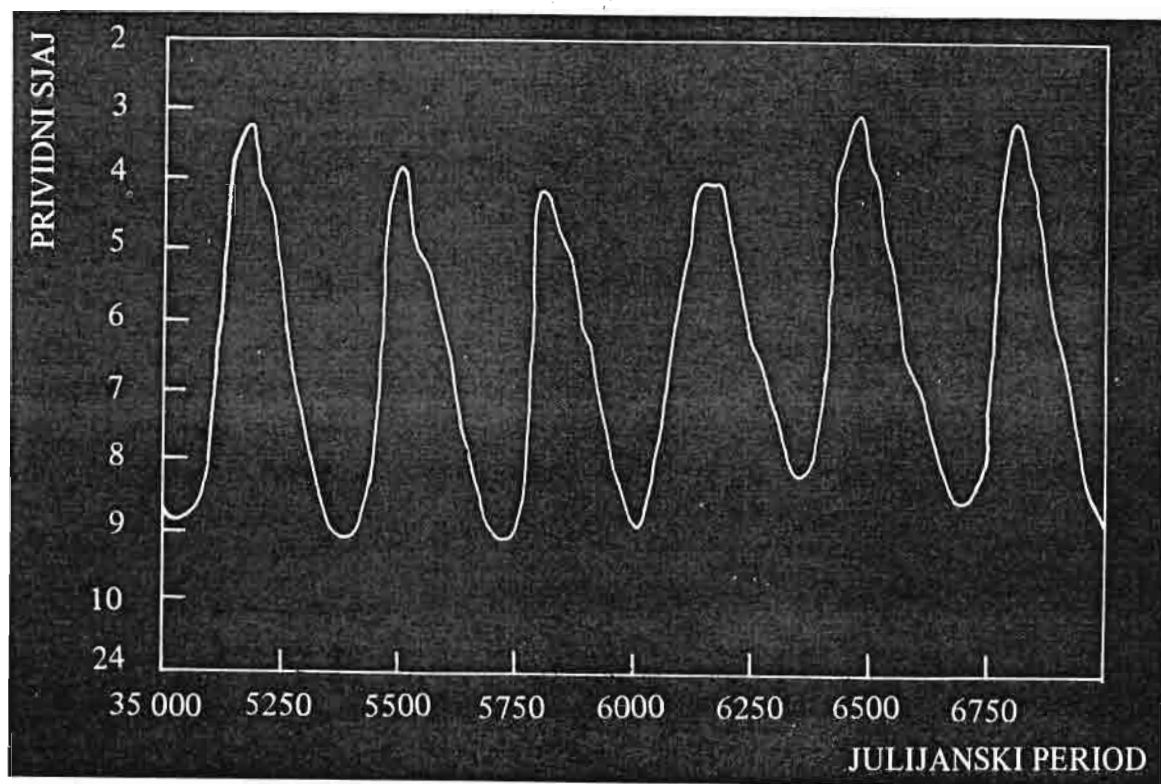
Kasnija teorijska razmatranja i posmatrački podaci nisu išli u prilog ovako pojednostavljenom modelu. Ovakve slobodne oscilacije morale bi da budu dosta brzo prigušene. Prigušene pulsacije bi, opet, vodile ka naglom porastu perioda kolebanja, što se ne opaža. Takođe bi trebalo da u momentu kada se zvijezda najviše skupi, njena temperatura bude najviša. Posmatrački podaci govore da je sjaj najveći kada se zvijezda širi najvećom brzinom, tj. u momentu najveće brzine širenja slojeva ka posmatraču. Posmatranja pokazuju da minimalni volumen zvijezde nastupa negdje na sredini uzlaznog kraka krive sjaja, odnosno, kada temperatura fotosfere ima neku srednju vrijednost, a ne maksimum.

Noviji teorijski prilazi ovom problemu uzimaju u obzir neke fizičke osobine omotača ili oblaka materije koji okružuje zvijezdu. Teorije se baziraju na sposobnosti sloja helijuma u takvim uslovima da akumulira energiju. Povećanje, odnosno snižavanje temperature helijumske zone, direktno utiče na

njenu prozračnost, odnosno neprozračnost. Prema ovim modelima, promjene u fizičkim osobinama cefeida nastaju u oblaku materije koja ih okružuje, a ne u unutrašnjosti zvijezda.

### 2.13.3 Dugoperiodične promjenljive

Za sve zvijezde ovog tipa karakteristično je da raspolažu dugim periodom promjene sjaja koji se kreće od 50 do 700 dana. Najpoznatiji predstavnik im je zvijezda  $\theta$  Ceti ili Mira. Sve dugoperiodične promjenljive su crvene zvijezde, što govori da su im površinske temperature niske. Obično spadaju u spektralne tipove M, N i S. Površinske temperature se kreću između 2000 i 3000 °C. Zvijezde tipa M inače su karakteristične po širokim trakama titanovog oksida. U blizini maksimuma sjaja pojavljuju se emisije linije vodonika. Zvijezde N tipa imaju slične spektre, ali se pojavljuju ugljenikova jedinjenja. S zvijezde imaju identične spektre kao M, s tom razlikom što umjesto traka titanovog oksida postoje trake cirkonijum oksida. Na grafikonu 2.15 prikazana je kriva sjaja Mire. Odmah se vidi da promjene sjaja nisu tako pravilne kao kod cefeida. Maksimumi i minimumi sjaja mogu da variraju. Tako npr. u slučaju Mire Ceti maksimalni sjaj se kreće između druge i pete prividne veličine. 1779. godine ona je u maksimumu bila sjajna poput zvijezde prve veličine.

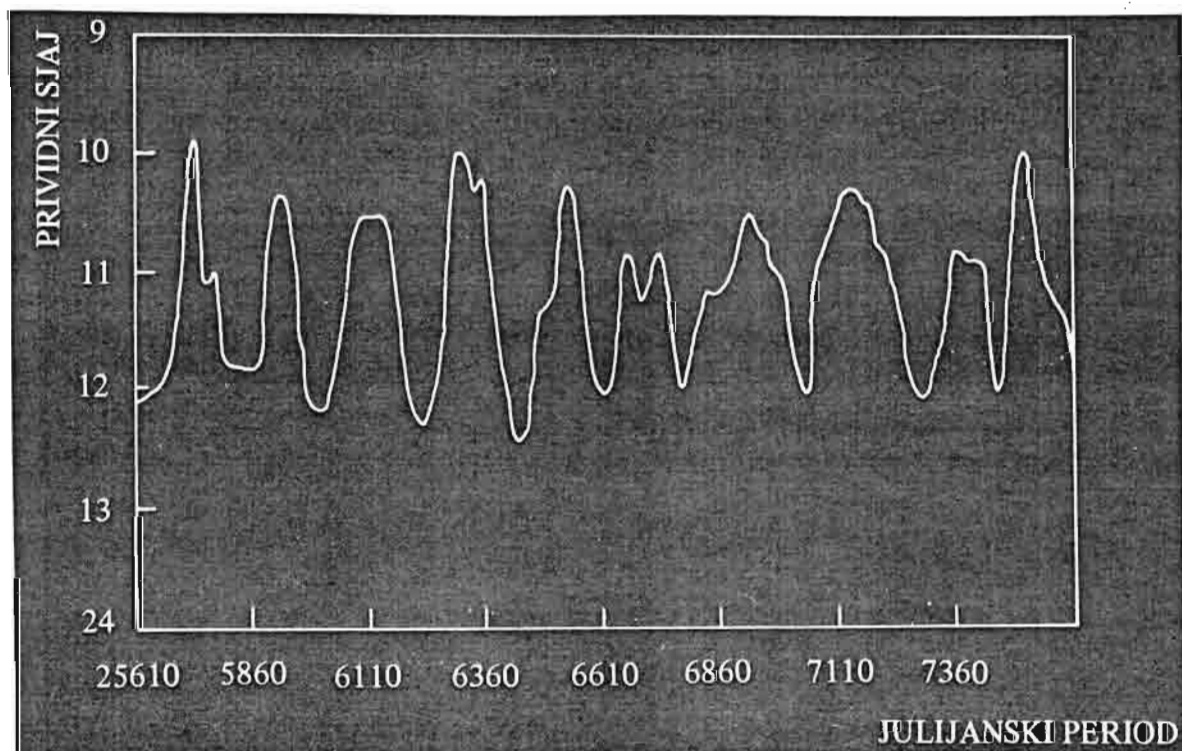


Sl.2.15. Kriva sjaja Mire ( $\theta$  Ceti).

Uporedo sa promjenama sjaja, kod ovih zvijezda idu promjene temperature i prečnika. Međutim, one su relativno male kada se uporede sa promjenama sjaja, jer zvijezda u maksimumu može biti i 100 000 puta sjajnije nego u minimumu. Posmatranja zračenja u ultraljubičastom i infracrvenom dijelu spektra govore da promjene sjaja nisu tako intenzivne. Inače, spektralna analiza pokazuje da su ovo takode pulsirajuće zvijezde. Sve, dugoperiodične promjenljive, su gigantske ili supergigantske zvijezde. Promjene sjaja ovakvih zvijezda se u novije vrijeme objašnjavaju pojavom udarnih talasa u njihovim fotosferama. Ti udarni talasi mogu da se kreću i brzinama većim od zvuka.

#### 2.13.4 Polupravilne promjenljive zvijezde

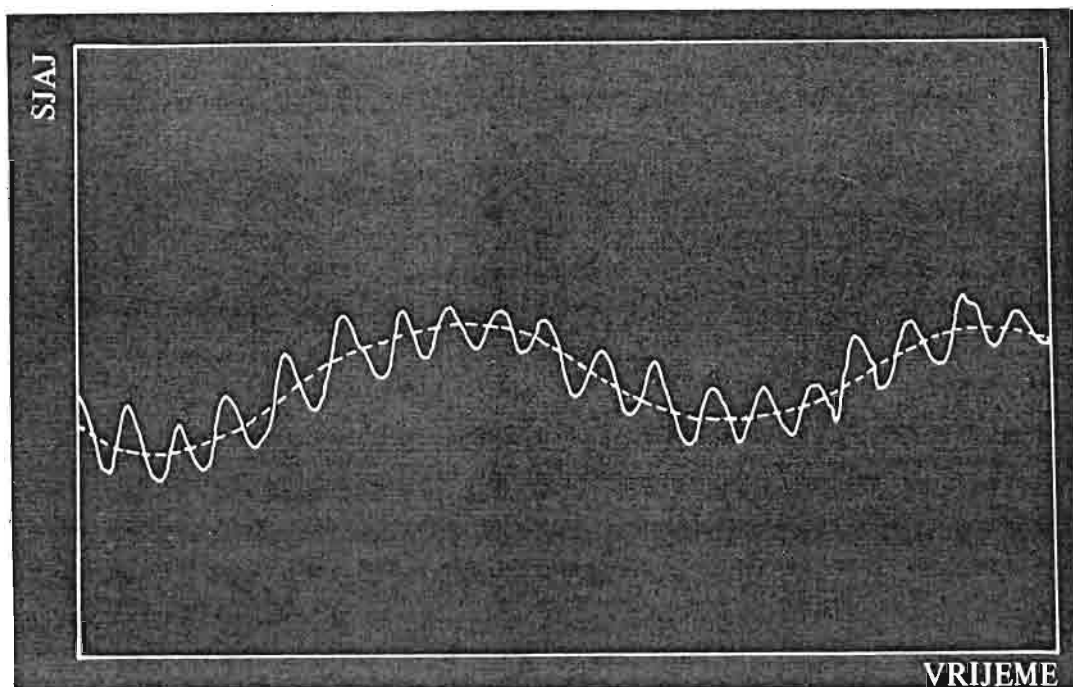
Već u slučaju dugoperiodičnih promjenljivih vidjeli smo da se promjene sjaja ne odvijaju pravilno. To odstupanje još više dolazi do izražaja kod polupravilnih promjenljivih zvijezda. Jedna od prvih registrovanih nepravilnih promjenljivih opisana je od strane W.Herschel-a. To je bila alfa Herkula.



Sl.2.16. Kriva sjaja zvijezde U Bootis.

Polupravilne promjenljive su slične dugoperiodičnim crvenim zvijezdama. Amplitude promjene sjaja su nasuprot tome znatno manje. Obično se radi o promjenama sjaja reda dvije prividne veličine. Na gornjoj slici (Sl.2.16) data je kriva promjene sjaja zvijezde U Bootis.

Često se kod ovakvih zvijezda, pored primarnog perioda promjene sjaja, javlja dodatni, sekundarni. Naime, određeni niz, napr. tri ili četiri perioda promjene sjaja, čine dio jedne promjene sjaja višeg reda. Na slici 2.17 vidi se kako to izgleda.



Sl.2.17. Svjetlosna kriva polupravilne promjenljive zvijezde. Vidi se prisustvo dodatnog sekundarnog perioda.

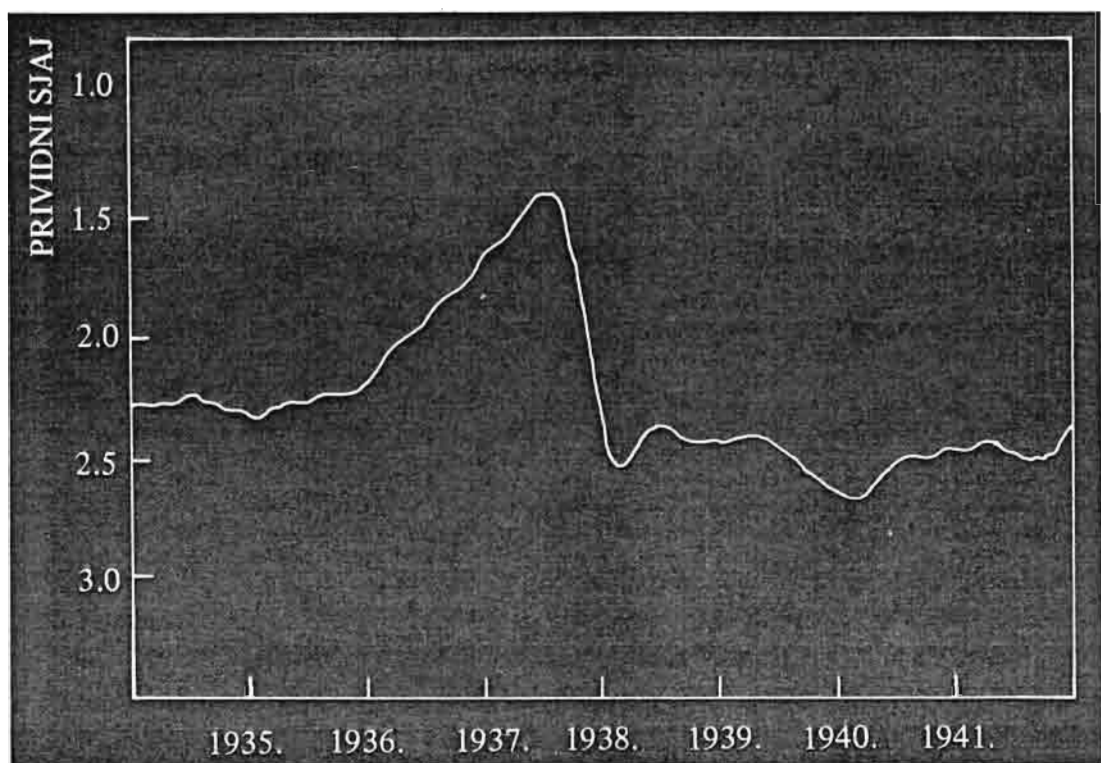
Zbog pomenutih osobina, ovakve zvijezde nije lako klasifikovati. U jednu grupu spadaju gigantske i supergigantske zvijezde spektralnih tipova M, N i S. Općenito gledano, krive sjaja ovakvih promjenljivih su slične onima koje imaju dugoperiodične. Jedina bitna razlika je mala amplituda promjene sjaja. Ovakve zvijezde su, napr. S Aquilae, R Ursae Minoris, itd.

Zvijezda Betelgez u Orionu, ili, recimo, alfa Herkula, grade, takode, jednu grupu polupravilnih promjenljivih. Karakterišu ih male amplitude sjaja i ranije opisana pojava sekundarnog perioda promjene sjaja. Od ostalih vrsta polupravilnih promjenljivih značajno je pomenuti zvijezde tipa RV Tauri.

### 2.13.5 Nepravilne promjenljive zvijezde

Ovakve zvijezde ne pokazuju nikakvu pravilnost u promjeni sjaja. Amplitude promjene sjaja su im male. Primjer takve zvijezde je gamma u sazviježđu Kasiopeje. Po njenoj krivoj promjene sjaja (Sl.2.18) vidljivo je, da su promjene sjaja sasvim nepravilne. Mnoge sjajnije zvijezde spadaju u ovu grupu




 Sl.2.18. Kriva sjaja  $\gamma$  Kasiopeiae.

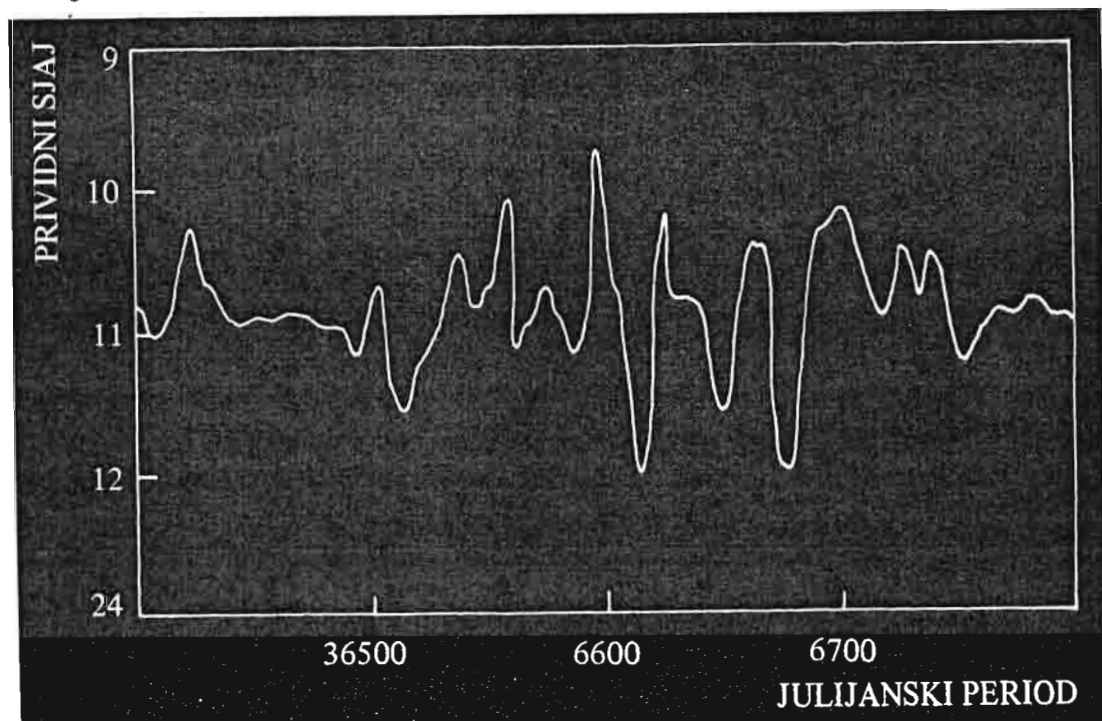
tako da se o njihovom spektralnom sastavu dosta zna, obzirom na to, da je lako dobiti kvalitetne spektre tako sjajnih objekata. Istraživanja pokazuju da ovakve zvijezde rotiraju veoma brzo, tako da dolazi do izbacivanja materije na veliku udaljenost. Ta materija obrazuje neku vrstu školjke oko zvijezde.

U posebnu grupu ovakvih zvijezda ulaze one slične  $\delta$  Cefeja. Njen sjaj se mijenja u intervalu od 3.4 do 5.2 minuta. Spada u gigante sa izrazitom tamno - crvenom bojom. Detaljna posmatranja pokazala su da se promjene sjaja ove zvijezde odvijaju veoma složeno, i da se radi o čak tri tipa kolebanja sjaja složena jedan na drugi.

### 2.13.6 Nebularne promjenljive

Pri jednostavnijoj analizi, vjerovatno bismo ovakve zvijezde svrstali u grupu nepravilnih promjenljivih. Međutim, dok glavne uzroke promjene sjaja nepravilnih promjenljivih treba tražiti u njihovim unutrašnjostima, u isto vrijeme, postoje zvijezde kod kojih te promjene u mnogome zavise od spoljnih uzroka. To su tzv. promjenljive u maglinama ili nebularne promjenljive. Dosta ih je nađeno u Velikoj maglini u Orionu i još na nekim mjestima bogatim tamnim i svijetlim difuznim maglinama. Na osnovu njihovih spektara klasifikovane su na više podgrupa.

RW Aurigae mijenjaju sjaj u intervalu dvije do tri prividne veličine. Većina njih ulazi u patuljaste zvijezde tipa G. Kriva sjaja te zvijezde prikazana je na slici 2.19.



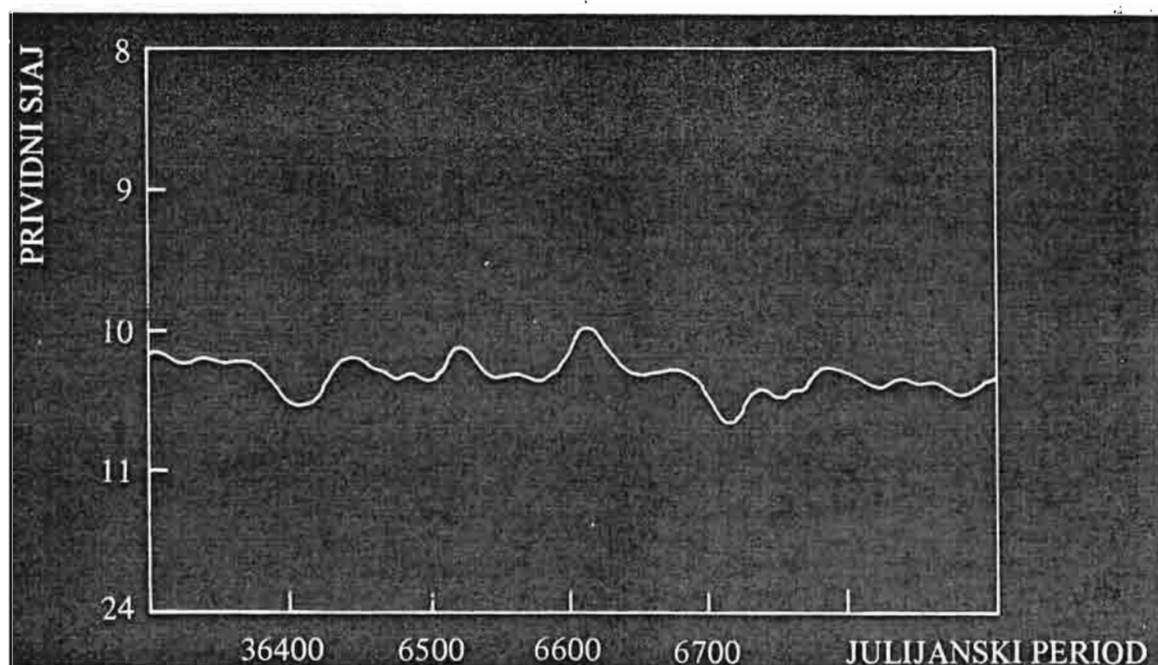
Sl.2.19. Kriva sjaja zvijezde RW Aurigae.

T Orionis su slične prethodnoj grupi zvijezda, ali su to objekti sa visokim površinskim temperaturama ( $10\,000^{\circ}\text{K}$  do  $25\,000^{\circ}\text{K}$ ). Smatra se da su to mlade zvijezde i uvijek su povezane sa sjajnim galaktičkim maglinama.

Kao podgrupa zvijezda RW Aurigae, javljaju se T Tauri. Male amplitude sjaja su karakteristične za ove zvijezde. Slika 2.20 prikazuje krivu zvijezde po kojoj je cijela grupa dobila ime. To su najčešće zvijezde kasnijih spektralnih tipova, i to, uglavnom, crveni patuljci. Magline koje ih okružuju su obično tamne. Smatra se da su T Tauri zvijezde mladi objekti u svemiru. Spektralna analiza je ustanovila da takve zvijezde imaju dosta litijuma u svojoj atmosferi, i to 100 puta više, nego što se može naći na Suncu. Tamne apsorpcione linije dosta su široke, što svjedoči o velikoj brzini rotiranja. Teškoću u posmatranju ovakvih zvijezda predstavlja činjenica da se radi o objektima koji su i u maksimumu dosta slabog sjaja, i za velike teleskope.

### 2.13.7. Promjenljive zvijezde tipa R Coronae Borealis

Ovo je mala neobična grupa promjenljivih. Zvijezda R Sjeverne Krune (Corona Borealis) veći dio vremena ima maksimalan sjaj od 5.8 prividne zvjezdane veličine. Ovakvo stanje maksimalnog sjaja prekida se iznenadnim dubokim



Sl.2.20. Kriva sjaja zvijezde T Tauri.

minimumima koji mogu doseći i 14. prividnu veličinu. Posmatranja većeg broja ovakvih zvijezda pokazuju da se radi, većinom, o objektima rijetkog spektralnog tipa R. Posebno je karakteristično da R Sj. Krune imaju velike količine ugljenika i njegovih jedinjenja, a abnormalno malo vodonika. Površinske temperature su im u prosjeku oko  $7000^{\circ}\text{K}$ . Baš prisustvom ugljenika neki astronomi objašnjavaju anomalne promjene sjaja ovih zvijezda. Proces bi mogao teći tako, što zbog nekih unutrašnjih uzroka dođe do iznenadnog izbacivanja veće količine gasovite materije, uglavnom, ugljenika. Udaljivši se malo od zvijezde, on se hladi i kristalizuje. Čestice ugljenika onda intenzivno upijaju svjetlost, i sjaj zvijezde se zato smanjuje, sve dok se taj ugljenični omotač ne rasprši u svemir.

### 2.13.8 Patuljaste nove zvijezde

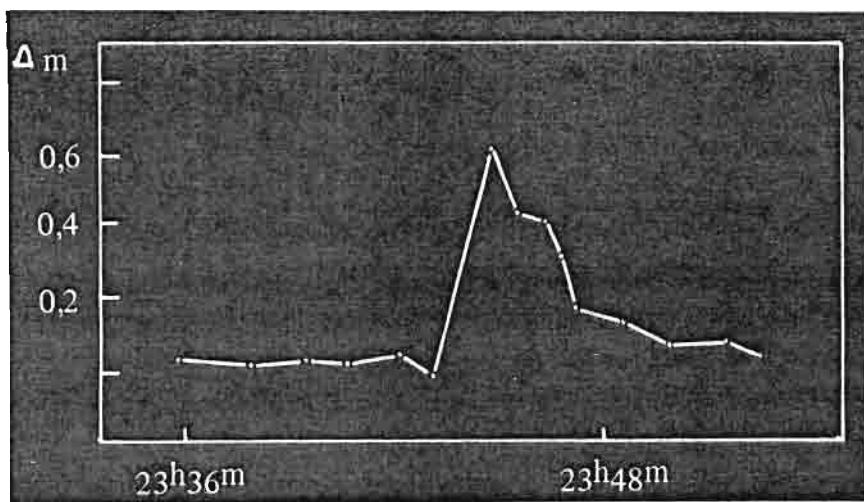
Prva od niza ovih zanimljivih zvijezda otkrivena je 1855. godine. To je bila U Geminorum. Za njih su karakteristične iznenadne promjene sjaja u intervalu od dvije do šest prividnih veličina. Fotoelektrični i spektroskopski radovi pokazuju da se većina patuljastih novih javlja kao sistem od bliskih dvojnih zvijezda. U njima gasovita materija struji od hladnije zvijezde slične Suncu prema pratiocu koji je bijeli patuljak.

## 2.13.9 Eruptivne promjenljive tipa UV Ceti

U posljednjih 20 godina otkrivena je neobična grupa zvijezda sa intenzivnim, eksplozivnim promjenama sjaja u vrlo kratkim vremenskim periodima. To su crveni patuljci slabog sjaja. Njihovi iznenadni bljeskovi podsjećaju na one koji se mogu povremeno pojaviti na Suncu. No, Sunčevi bljeskovi su isuviše slabi da bi doprinijeli nekom povećanju njegovog ukupnog sjaja.

Prva ovakva zvijezda opažena je 1947. godine, kada je Carpenter načinio seriju snimaka sa kratkom ekspozicijom patuljaste crvene zvijezde L-756-8, koju danas znamo pod nazivom UV Ceti. On je ustanovio da je pomenutoj zvijezdi, u intervalu od dva minuta, sjaj porastao za oko dvije veličine, a zatim ponovo naglo opao na prethodnu vrijednost. Ovo je dovelo do sistematskog tražanja i posmatranja sličnih zvijezda.

Obično se ovakve nagle promjene sjaja zadrže u intervalu od jedne do dvije prividne veličine. Međutim, u septembru 1952. godine, sjaj UV Ceti je, sa 12.9, porastao na 5.8 i sve to u roku od 5 minuta, uključujući povratak na normalan sjaj. Na slici 2.21 prikazana je jedna erupcija sjaja zvijezde UV Ceti.



Sl.2.21. Kriva sjaja UV Ceti dobivena 23.9.1965. godine.

Spektri ovih zvijezda u normalnom stanju su tipa M sa izrazitim vodonikovim emisionim linijama. Značajno je prisustvo jonizovanog kalcijuma. Posmatranje, odnosno snimanje spektara u trenucima bljeska, vrlo je teško, jer se radi o kratkim vremenskim intervalima, a za snimanje spektra obično su neophodne duge ekspozicije.

Nepravilnost bljeska zvijezda UV Ceti nalaže neprekidno posmatranje i to isključivo fotoelektrično. Iako je za posljednje dvije i po decenije sakupljeno dosta posmatračkog materijala, još uvijek je nejasan mehanizam koji vodi do iznenadnih bljeskova sjaja. Mnoge od ovakvih zvijezda (60 %) su članovi bliskih dvojnih sistema.

### 2.13.10 Volf-Rajetove zvijezde

Po svom spektralnom izgledu, ova grupa zvijezda bi se mogla svrstati u klasu O. Međutim, kod njih se, pored takvog spektra, opažaju i široke sjajne trake. Većina tih sjajnih traka pripada višestruko jonizovanim atomima helijuma, silicijuma i ugljenika. Vodonikove linije su slabije. Danas je poznato oko 200 takvih zvijezda.

Volf-Rajetove zvijezde su objekti visokog sjaja i apsolutna veličina im se kreće od  $-4$  do  $-8$ . Samim tim temperatura je veoma visoka i kreće se od  $60\,000^{\circ}$  -  $100\,000^{\circ}$ K. Radijusi su im dvostruko veći od Sunčevog a mase u prosjeku budu i dvadeset puta veće od Sunčeve. 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 trake u spektru Volf - Rajetovih zvijezda nastaju zbog kretanja atoma atmosfere koja ih okružuje. Naime, atomi se kreću radijalno 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 Doplerovom efektu. Zbog toga, umjesto emisijskih linija, opažamo sjajne trake.

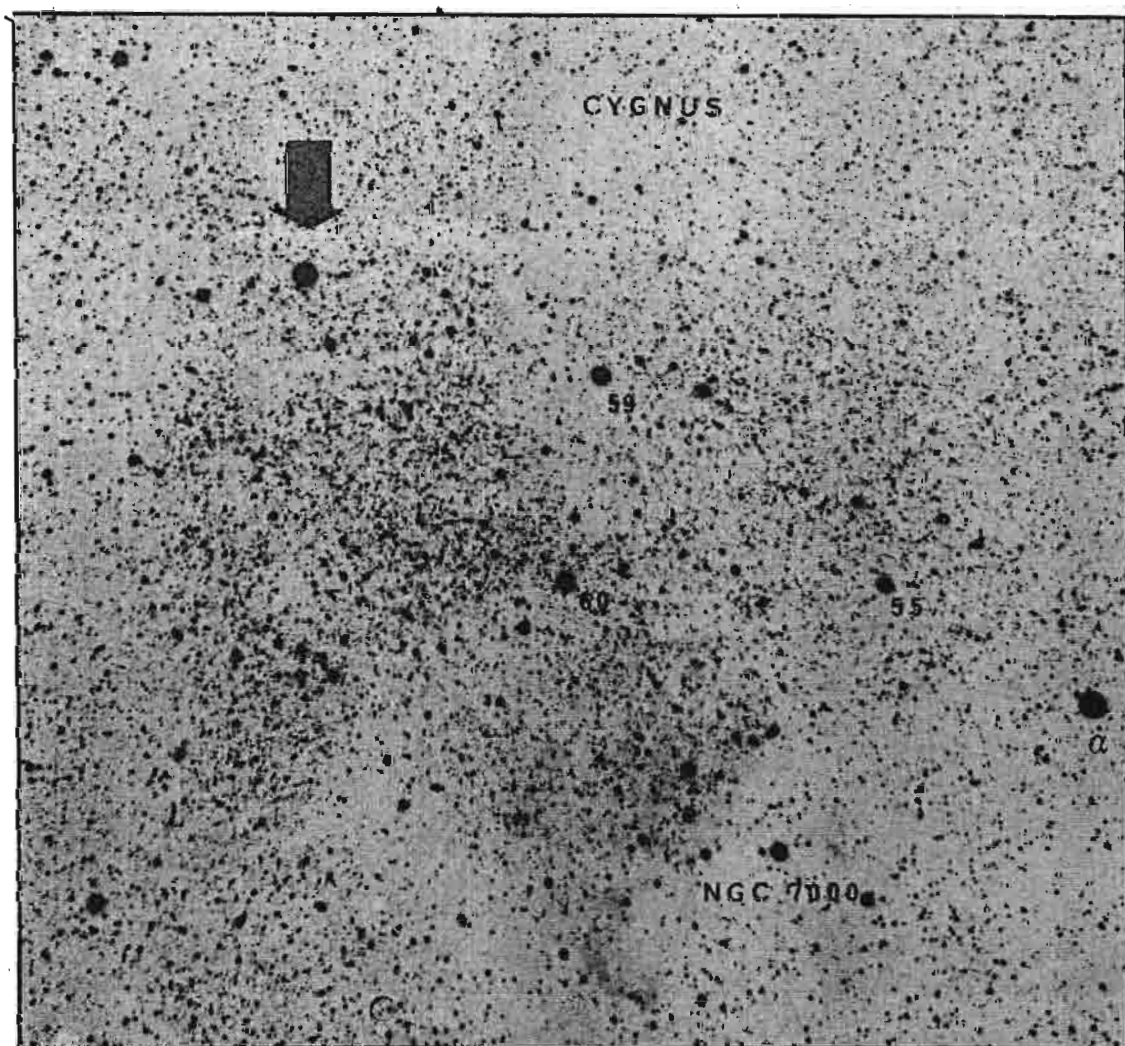
### 2.14 NOVE I SUPERNOVE ZVIJEZDE

Povremeno, u većim vremenskim razmacima, na nebu je moguće zabilježiti pojavu neke sjajne zvijezde koje na tom mjestu ranije nije bilo. Zato su takve zvijezde prozvali "nove". Danas se zna da se tu ne radi o rađanju potpuno nove zvijezde. Ispitivanja ranije načinjenih snimaka pokazuju da se u svim slučajevima na istom mjestu već nalazila neka zvijezda. Primjena astrofotografije omogućava otkriće ovakvih zvijezda čak i u onim slučajevima kada se porast sjaja ostvari u, za oko nevidljivom, intervalu zvjezdanih veličina. Mnoge nove su otkrili i amateri. Danas se one otkrivaju i pomoću objektivne prizme jer imaju karakterističan spektar.

Kod izučavanja ovakvih zvijezda važnu ulogu igra snimanje spektra i mjerenje prividne veličine koja se mijenja. Kasnije se iz grafikona vrijeme-prividna veličina može izvući dosta korisnih podataka. Karakteristično je da u prosjeku amplituda promjene sjaja novih zvijezda iznosi oko 11 prividnih veličina. Znači da se sa neke početne vrijednosti sjaj u maksimumu poveća za 25 hiljada puta.

U periodu do maksimuma sjaja, spektar novih liči na obične spektre zvijezda tipa A i F. To je spektar u kome se osobito ističu tamne linije vodonika. Kako sjaj neprekidno raste, ove linije pokazuju pomjeranje ka ljubičastom kraju spektra. To znači da se vanjski dijelovi zvijezde šire i to brzinama od nekoliko stotina kilometara u sekundi. Neposredno poslije maksimuma,

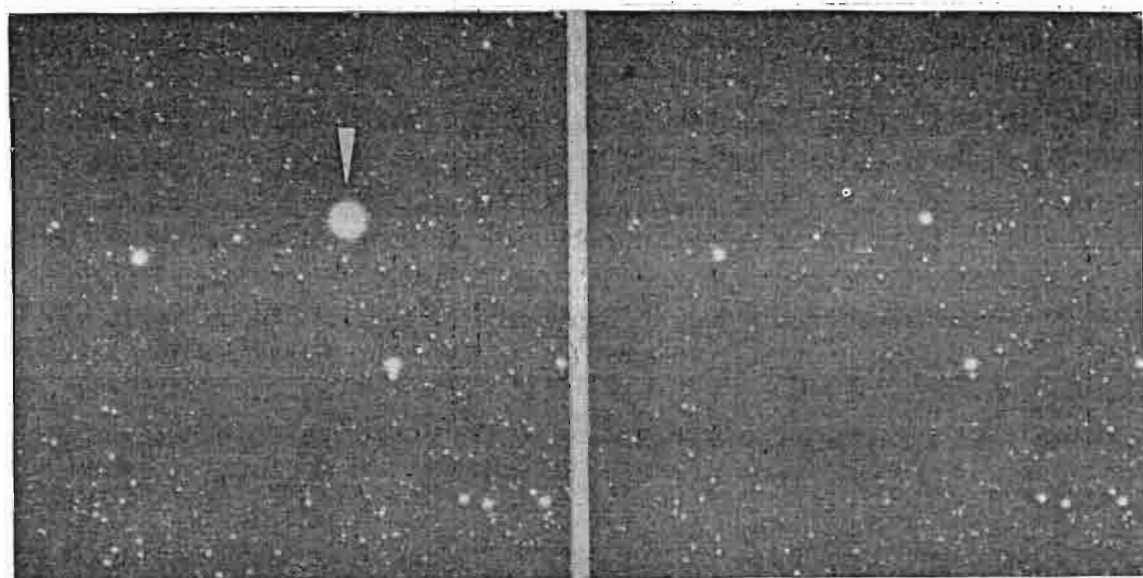
u spektru se može registrovati pojava svijetlih linija na mjestima gdje su ranije bile tamne. Pojava emisionih linija i traka ukazuje na to da se od izbačene materije obrazuje gasoviti omotač. Ovaj omotač ima neke sličnosti sa planetarnim maglinama. Ta maglina je registrovana i fotografski kod nekih sjajnijih novih. Ona se stalno širi i razrjeđuje. Nakon niza godina spektar zvijezde koja je u prošlosti bila nova postaje obično sličan spektru Volf-Rajetovih zvijezda. Nova se nakon ovih burnih procesa obično vraća na svoj prvobitni sjaj.



Sl.2.22. Nova Cygni 1975. (Fotografija Astronomske opservatorije u Sarajevu. Snimio M. Muminović).

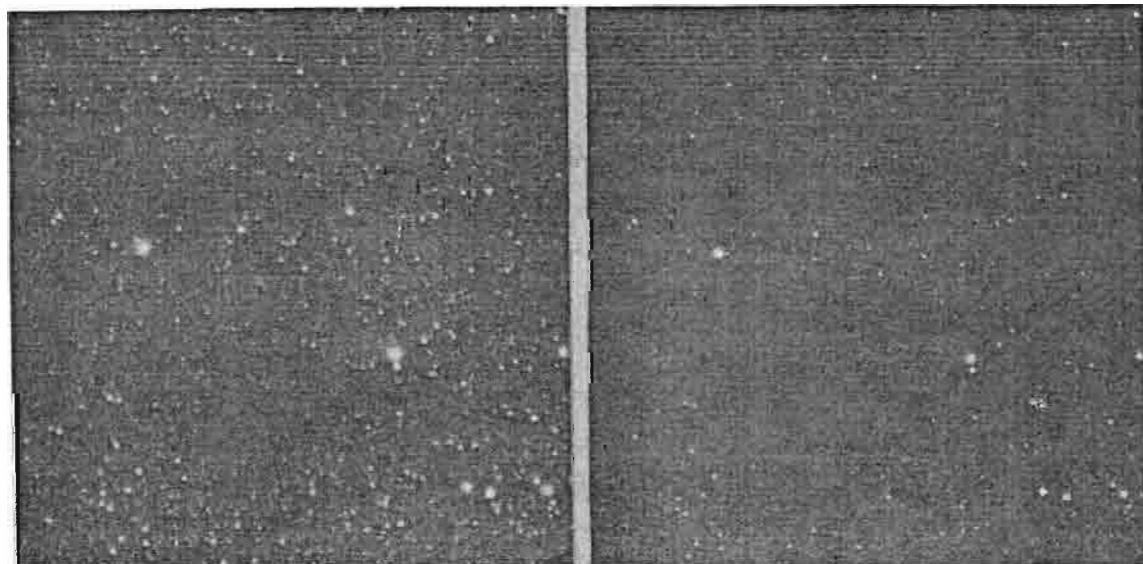
Postoje slučajevi da zvijezda koja je jednom bila nova ponovo pređe u to stanje nakon dužeg vremena. Tako je otkrivena specijalna grupa zvijezda koje se obično nazivaju "povratne nove". Takva je, recimo, zvijezda T Sjeverne





3.8.1975.

7.9.1975.



15.9.1975.

4.12.1975.

Sl.2.23. Faze promjene sjaja Nove Cygni 1975. (Fotografije Astronomske opservatorije u Sarajevu. Snimio M. Muminović).



krune. Postoje i tzv. "novima slične zvijezde" kod kojih takode dolazi do naglog porasta sjaja, ali taj proces nije tako snažan kao kod običnih novih.

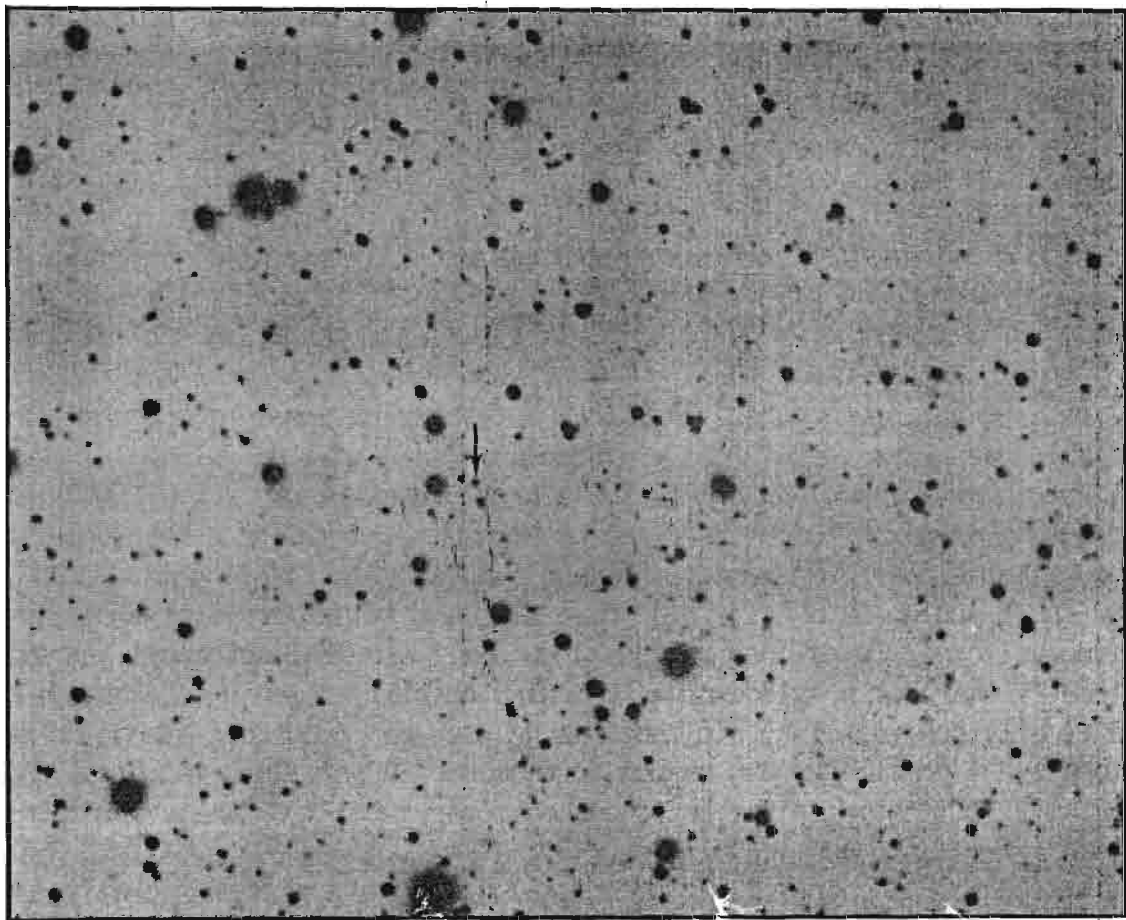
Pitanje uzroka zbog kojih nove odbacuju materiju iz svojih vanjskih slojeva još nije riješeno. Jedna od neznoga je što se ne raspolaže spektrima tih zvijezda prije nego što je došlo do tog procesa. Po pravilu su to zvijezde na velikim udaljenostima i prividni sjaj im je mali. Zato ne ulaze ni u kakve spektralne kataloge, jer takvih zvijezda ima na milijarde u Mliječnom putu.

U posljednjoj deceniji najviše pažnje je izazvala eksplozija nove u sa-zviježđu Labuda. Krajem avgusta 1975. godine ona se pojavila u blizini zvijezde Deneb, sjajna kao objekat druge prividne veličine. Sa Astronomske opservatorije u Sarajevu opažena je 30.8.1975. U okviru posebnog programa, zvijezda je praćena i snimana. Sjaj joj je brzo opadao tako da je, već prvog oktobra, prema procjenama sa snimka, imala prividnu veličinu od 6.9. Oblast nove je godinu dana ranije registrovana na pločama Sarajevskog atlasa neba. Pažljivo posmatranje veoma uvećanih snimaka iz dva razdoblja je pokazalo da na mjestu nove godinu dana prije nije bilo ni jedne zvijezde sjajnije od 16-te prividne veličine. Do sličnog zaključka su došli američki astronomi istraživši ploče Palomarskog pregleda neba. Oni nisu opazili ni jedan objekat sjajniji od 21 prividne veličine, što znači da je nova od prvobitnog stanja do maksimalnog sjaja prešla ogroman raspon od najmanje 19 prividnih veličina. Snimci 2.22 i 2.23, načinjeni na Astronomskoj opservatoriji u Sarajevu, najbolje svjedoče o veličini ove pojave.

1975. ostaće poznata po još jednoj novoj koja je najprije opažena u rentgenskom diapazonu pri jednom eksperimentu koji su engleski naučnici sproveli pomoću satelita "Ariel V". Poređenjem Palomarskih ploča i novih snimaka oblasti sazviježđa Monoceros, opažena je nova 10-te prividne veličine. Ona je 1955. imala sjaj 20.5. I ova nova uspješno je identifikovana na osnovu ploča Sarajevskog atlasa neba, nakon snimanja obavljenog 3. novembra 1975. Slika 2.24 prikazuje Novu Monocerotis 1975.

Supernove zvijezde predstavljaju najgrandiozniju poznatu pojavu u svijetu zvijezda. U vrijeme kada dosegnu maksimalan sjaj, supernove zvijezde svijetle kao sistem od više milijardi zvijezda zajedno. U toku istorije čovječanstva postoje pisana svjedočanstva o tri ovakve eksplozije zvijezda. U drugim galaksijama povremeno dolazi do ovakvih pojava i one su dale sve podatke koje danas imamo o supernovima. U vrijeme pojave posljednje poznate supernove u našoj galaksiji, 1604. godine, još nije bilo teleskopa i drugih instrumenata. Zato ispitivanje vangalaktičkih supernovih ima veliki značaj.

Veoma značajno bilo je ispitivanje starih kineskih i japanskih hronika u kojima su opisane pojave ovakvih zvijezda. Tako kineska enciklopedija 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".



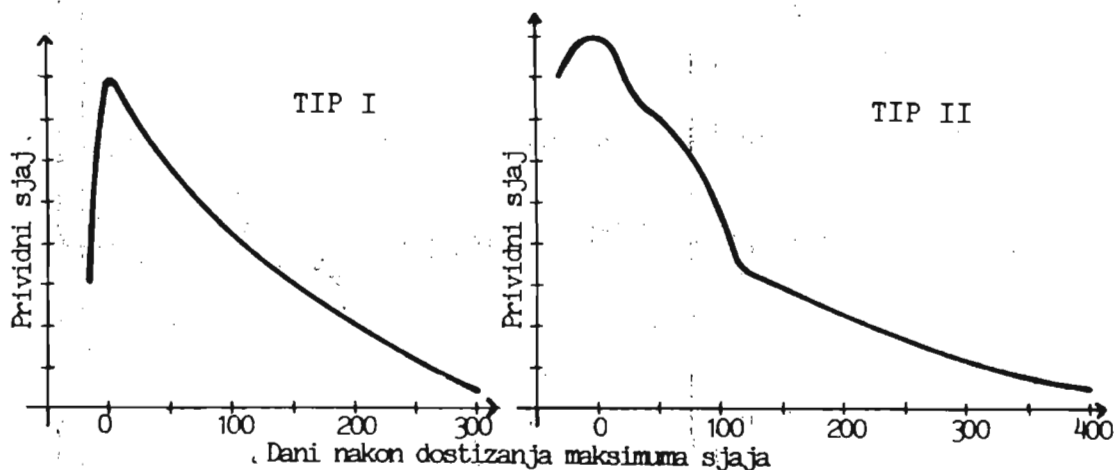
Sl.2.24. Nova Monocerotis 1975. (Fotografija Astronomske opservatorije u Sarajevu. Snimio M. Muminović).

Ostatak ove kosmičke katastrofe je čuvena Krab maglina (Maglina Rakovića). U Messier-ovom katalogu ovaj objekat nosi oznaku M1. Zahvaljujući kineskim hronikama, nauka je mogla da sazna porijeklo ovog, po mnogo čemu jedinstvenog, objekta u našoj galaksiji. 1885. godine bila je opažena nova zvijezda u Velikoj maglini u Andromedi. U momentu otkrića ona je bila 6-te veličine. Kada je početkom našeg vijeka bila određena udaljenost ovog zvjezdanog sistema, pokazalo se da opažena zvijezda nije bila nova. Prosječne nove imaju apsolutni sjaj od  $-6$  do  $-7$ . Prema tada ne baš tačno određenoj udaljenosti magline M31, apsolutni sjaj ove zvijezde mogao bi biti oko  $-15$ . To je bila prva činjenica koja je dovela do spoznaje o postojanju supernovih.

U sazviježdu Kasiopeje je 1572. godine eksplodirala jedna supernova. Posljednji veliki astronom predteleskopske ere, Tiho Brahe, posmatrao je ovu zvijezdu i ostavio mnogo korisnih podataka. Danas se na ovom mjestu nalazi maglina koja je u radio-astronomskim katalogima označena kao Kasiopeja A. To je najsnažniji izvor radio zračenja koji je moguće registrovati sa Zemlje.

Izučavanje krivih sjaja supernovih dovelo je do zaključka o postojanju

dva osnovna tipa. Supernove I tipa imaju spektre koji još uvijek nisu dešifrovani. Spektri supernovih II tipa liče na spektre običnih novih. U maksimumu sjaja, supernove imaju apsolutne veličine od  $-12$  do  $-18$ . Slika 2.25 pokazuje tipične krive sjaja supernovih I i II tipa.

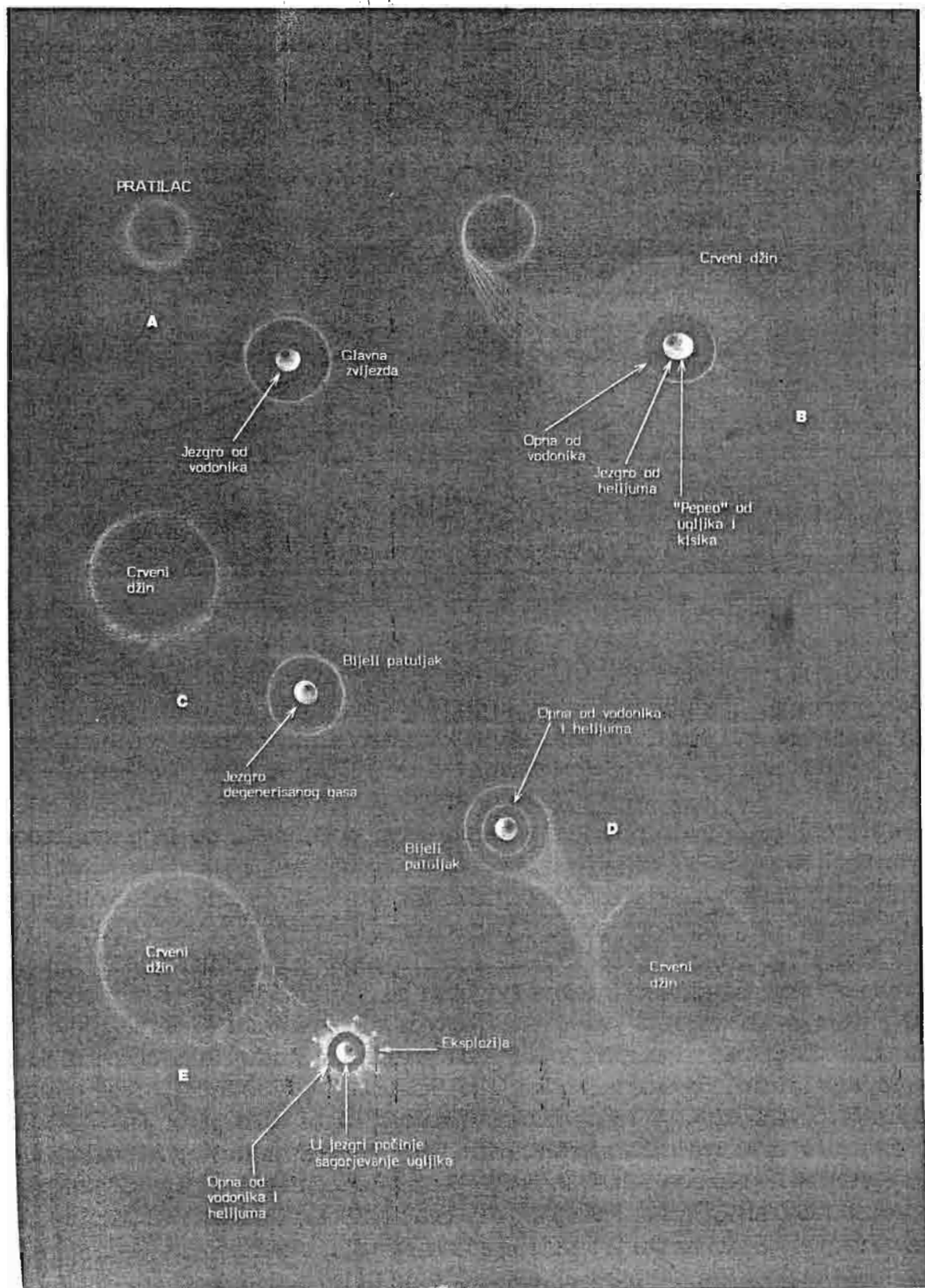


Sl.2.25. Tipične krive sjaja Supernovih I i II tipa prema G.A. Tammann-u.

Izbacivanje materije vrši se brzinom od oko  $6000$  km/s. Energija te eksplozije ima vrijednost  $10^{50}$  do  $10^{51}$  erga. Toliku energiju Sunce izrači za milijardu godina. Nesumnjivo je da su pojave supernovih vezane sa suštinskim transformacijama zvijezda. Uzroci takvih katastrofalnih procesa još nisu poznati. Postoje samo grubi teoretski opisi o tome kako bi ta pojava mogla nastati.

Za tip I supernovih ponuđen je veoma dobar model. On počinje zvijezdom iz glavnog niza u H-R dijagramu, oko koje kruži manje masivan pratilac (Sl.2.26 A). Primarna zvijezda, ovog dvojnog sistema, postepeno evoluira u crvenog džina. U jezgru joj se odvija nuklearno sagorjevanje helijuma, a oko jezgra "gori" vodonik. U središtu se formira pepeo od ugljika i kiseonika. Formiranjem crvenog giganta glavna zvijezda se širi, (Sl.2.26 B) i počinje prelaz materije na zvijezdu pratioca. Najveći dio ove materije građen je od vodonika. Gubeći materiju glavna zvijezda prelazi u stadij bijelog patuljka, građenog, uglavnom, od ugljenika i kiseonika (Sl.2.26 C). Sada, bivši pratilac postaje crveni džin, i vraća materiju natrag ka bijelom patuljku (Sl.2.26 D). Primajući materiju masa bijelog patuljka raste. Kada dostigne Chandrasekharovu granicu ( $1.4$  mase Sunca) njegovo jezgro kolapsira i, ugljenik počinje svoj proces nuklearnog sagorjevanja, ali ovaj put eksplozivno. Nesposoban da se stabilizuje, bijeli patuljak tada eksplodira (Sl.2.26 E).

Za supernove II tipa pretpostavlja se da su pojedinačne zvijezde sa velikom masom (do 20 sunčevih masa).



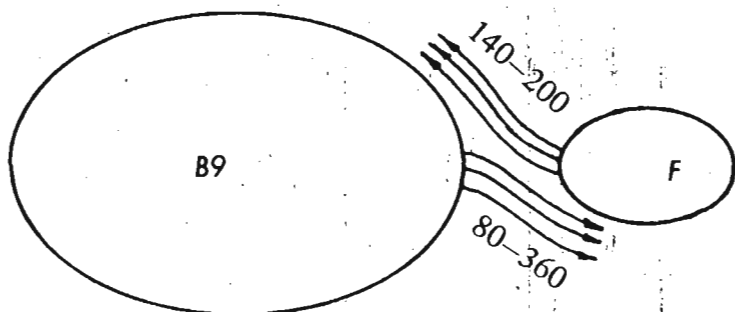
Sl.2.26. Nastanak i eksplozija supernove I tipa.

Supernove i nove zvijezde omogućile su da se uvede još jedna metoda za mjerenje udaljenosti u svemiru. Ranije je pomenuto da apsolutni sjaj novih i supernovih određene vrste ima neku konstantnu vrijednost. Tako, ako se u dalekoj maglini otkrije neka ovakva zvijezda, onda, poznavajući njenu prividnu veličinu i pretpostavivši neku vrijednost apsolutnog sjaja, nije teško naći približnu vrijednost udaljenosti.

## 2.15 POMRAČUJUĆE PROMJENLJIVE ZVIJEZDE

Pomračujuće promjenljive zvijezde su posebna i vrlo zanimljiva grupa promjenljivih zvijezda. Neki ih nazivaju i pomračujuće dvojne zvijezde, što nije slučajno, jer se radi o sistemu od, najčešće, dva sunca koja se međusobno zaklanjaju i tim mehanizmom nastaju promjene sjaja koje uočavamo. Sasvim je jasno da se ovdje ne radi o pravim, fizičkim promjenljivim zvijezdama, kod kojih stanovite varijacije sjaja imaju uzroke u procesima, u unutrašnjim i vanjskim dijelovima zvijezde. Uprkos tome, pomračujuće zvijezde bogati su izvorom brojnih podataka o fizičkim osobinama zvijezda uopšte, pa se stoga vrlo pomno izučavaju. Iz krivih promjena sjaja moguće je doći do podataka o osnovnim elementima jednog takvog dvojnog sistema, zatim su tu podaci o radiusima komponenti, a vrlo je važna činjenica da se može saznati i o takvim stvarima kao što su: odstupanja od sferičnog oblika zvijezde, opadanje sjaja zvijezde ka rubovima njenog diska itd. U slučajevima kada možemo, pomoću spektralne analize, mjeriti i ugaone brzine komponenti jednog pomračujućeg sistema, tada nije teško doći i do podataka o masama ta dva sunca.

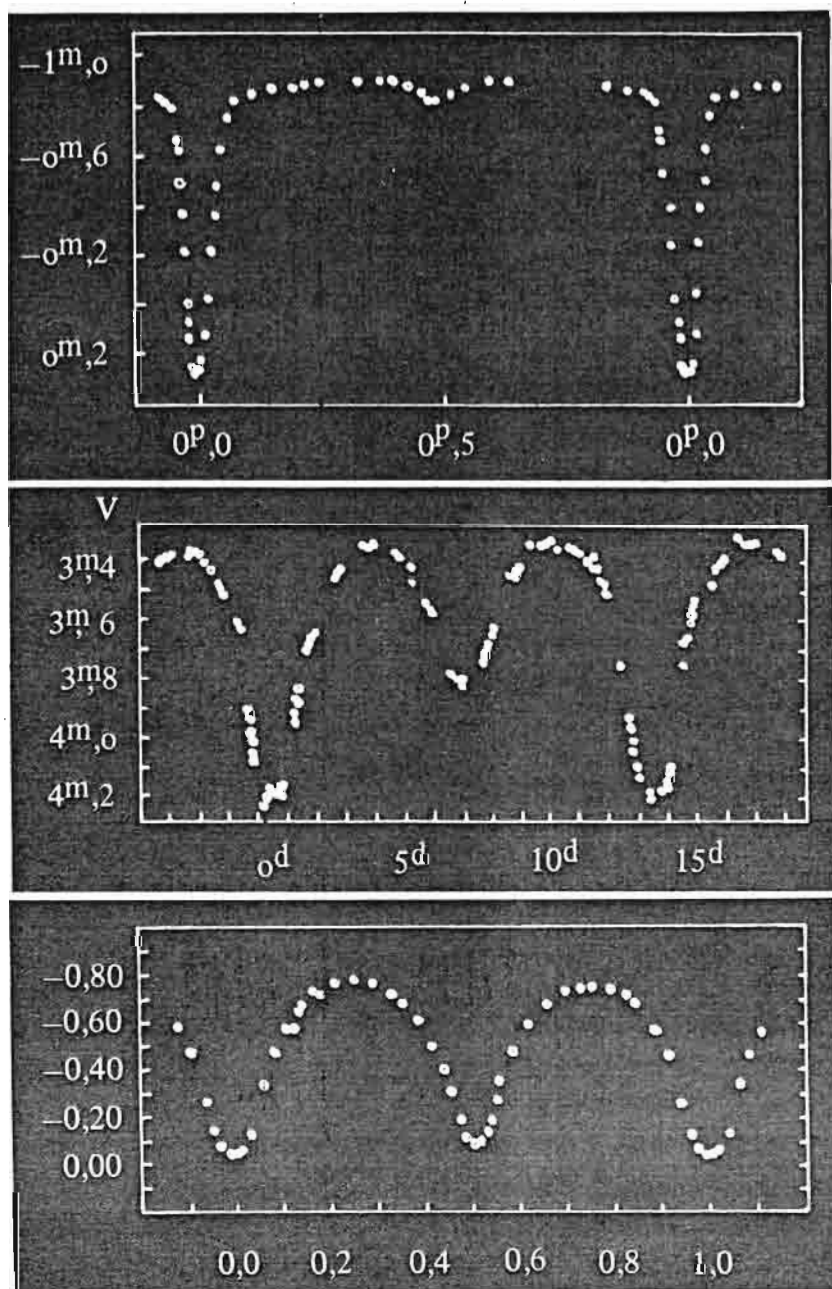
Algol ili  $\beta$  Perzeja je bio prva otkrivena pomračujuća promjenljiva zvijezda. Otkriće se pripisuje Montanariju, a registrovano je 1669. godine. Priroda ove zvijezde koju lako opažamo golim okom, tada, naravno, nije bila poznata. Nakon više od jednog vijeka, Džon Gudrik je ustanovio da period promjene sjaja ove zvijezde iznosi 2 dana i 21 čas. Gudrik je, iznenađujuće oštroumno za doba u kome je živio, pretpostavio da promjene sjaja Algola izaziva tamni saputnik koji se okreće oko sjajnije zvijezde. Isti posmatrač je otkrio i drugu karakterističnu pomračujuću zvijezdu  $\beta$  Lire. Ovakve zvijezde



Sl.2.27. Sistem  $\beta$  Lirae. Brojevi daju brzine isticanja materije (km/s).

poznate su po tome što im komponente imaju elipsoidan oblik, a zbog njihove međusobne blizine dolazi do isticanja materije. Na slici 2.27 dat je shematski prikaz sistema  $\beta$  Lire.

1903. godine otkrivena je zvijezda W Velikog Medvjeda. Ona je karakterističan predstavnik treće zanimljive grupe pomračujućih zvijezda. Kao što se



Sl.2.28. Krive sjaja Algola,  $\beta$  Lire i W Velikog medvjeda. EkspONENT  $p$  označava period promjene sjaja, a  $d$  vrijeme u danima.  $\Delta m$  predstavlja razliku prividnih veličina zvijezde u raznim trenucima posmatranja.  $m$  je prividna veličina.

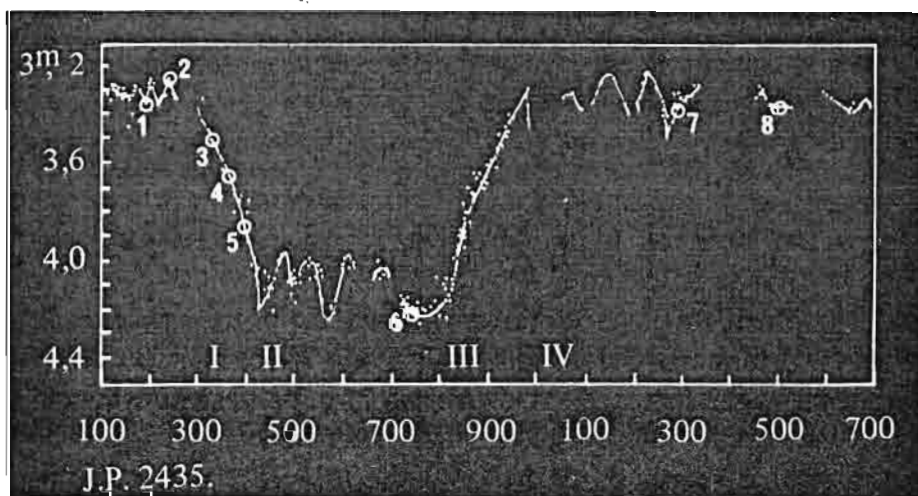


iz priloženih grafika vidi, sekundarni minimum ove zvijezde je jednako dubok kao i primarni. Primarni minimum sjaja, u jednom pomračujućem sistemu, nastupa uvijek kada se sjajnija zvijezda nađe iza tamnije, a sekundarnom minimumu odgovara suprotan položaj.

W Velikog Medvjeda je od Sunca udaljena oko 200 svjetlosnih godina. Prividni sjaj joj se mijenja od 7.9 do 8.7 prividnih veličina, u periodu od 8 sati i 27 sekundi. Primarna zvijezda ima spektralni tip F8, apsolutni sjaj +4.42, a prečnik 1.14 puta veći od prečnika Sunca. Masa ove zvijezde jednaka je sunčevoj, a od Sunca je sjajnija za 1.45 puta. Sekundarna komponenta je zvijezda spektralnog tipa F6 sa apsolutnim sjajem +4.75. Prečnik ove zvijezde je 0.83 sunčevog, masa 60% mase Sunca, a sjajna je kao Sunce. Rastojanje, od centra jedne do centra druge zvijezde, iznosi oko 15 miliona kilometara. Zvijezde su usljed dejstva gravitacionih sila iskrivljene u obliku elipsoida te se nalaze u direktnom kontaktu jedna sa drugom.

Dobar dio pomračujućih promjenljivih zvijezda možemo svrstati u tzv. tijesne dvojne sisteme. Kod takvih sistema, mala međusobna rastojanja komponenti dovode do interesantnih procesa, kao što su isticanje materije od jedne ka drugoj zvijezdi, deformisanje zvijezda, odnosno, njihovo odstupanje od sfernog oblika i slično. Prisutni su i slučajevi kada komponente pomračujućeg sistema pokazuju fizičke promjene sjaja. Takav zanimljiv objekat je zvijezda V Sge (V Strijele). Nju sačinjavaju zvijezde sa masama 0.74 do 0.28 masa Sunca na rastojanju, međusobnom, od nekoliko radiusa Sunca. Čitav sistem umotan je u oblak materije koja je istekla usljed djelovanja gravitacionih sila.

Kod jednog dijela pomračujućih zvijezda ne radi se o tijesnim dvojnim sistemima. Komponente su znatno udaljene i promjene sjaja se sporije odvijaju. Posebno interesantna pomračujuća zvijezda je  $\epsilon$  Aurige (Koćijaša). Pomračenje kod ove zvijezde traje oko dvije godine, a ponavlja se svakih 27 godina. Za vrijeme predposljednjeg pomračenja (1955-1957g.), preciznija mjerenja su pokazala da je  $\epsilon$  Aurige ne samo pomračujuća, već i polupravilna

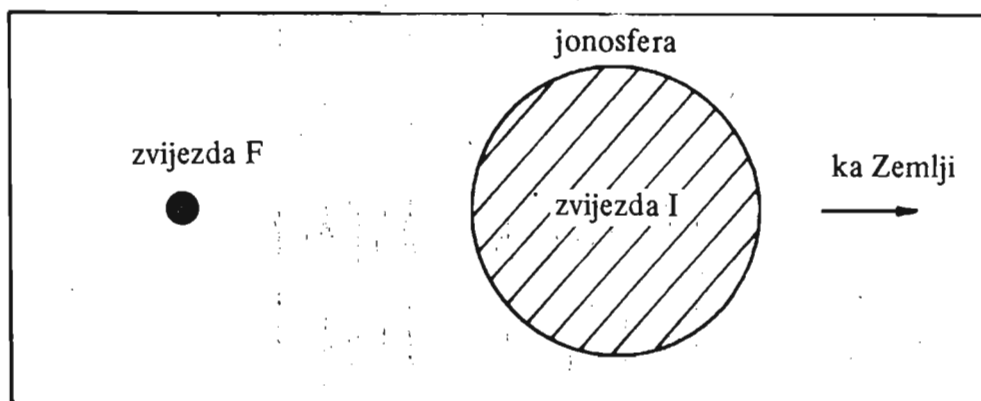


Sl.2.29. Kriva sjaja zvijezde  $\epsilon$  Aurigae.



fizička promjenljiva zvijezda. Ovaj sistem privlači pažnju baš zbog tako dugog perioda promjene sjaja. Posmatranja pokazuju da radius relativne orbite sjajne komponente dostiže veličinu od oko 2 milijarde kilometara. Ono što je posebno zagonetno je činjenica da u opštem spektru sistema nema nikakvih tragova spektra tamnije komponente. Oblik krive sjaja ove zvijezde (Sl.2.29) ukazuje da je pomračenje koje se zbiva u vrijeme minimuma sjaja "totalno", tj. da tamnija komponenta prolazi tačno ispred sjajne i u potpunosti je zaklanja. Na osnovu toga trebalo bi, u toku te godine dana, koliko od prilike traje minimum sjaja, da posmatramo spektar te tamnije komponente, a u ostalo vrijeme vidjeli bismo i spektar sjajnije zvijezde. No, nikakve promjene spektra iz kojih bi se moglo zaključiti da  $\epsilon$  Aurigae stvarno ima tamnog pratioca nisu opažene. Jedina promjena se sastoji u tome da neke linije postaju sjajnije, a u vrijeme pomračenja, kod većine linija se pojavljuju "sapatnici", tj. dolazi do cijepanja linija.

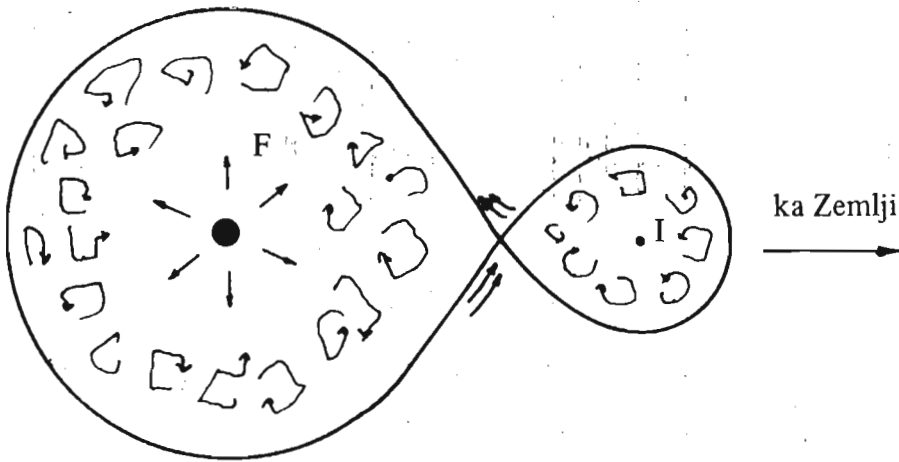
Ovo je navelo Struvea, Kojpera i Stremgena da još 1937. godine pretpostave sljedeći izgled ovog sistema. Supergigantska zvijezda F ima infracrvenog saputnika I čiji su razmjeri ogromni, a gustina materije, koja ga gradi, veoma mala. U vrijeme glavnog minimuma, svjetlost zvijezde F prolazi kroz rijetku materiju saputnika I. Ovo se najbolje vidi na slici 2.30.



Sl.2.30.

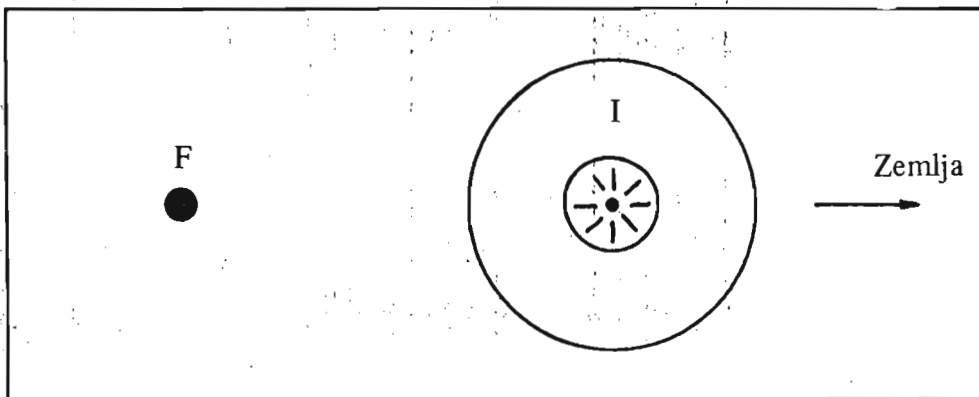
Novija posmatranja pokazuju da nije moguće registrovati nikakvo infracrveno zračenje zvijezde  $\epsilon$  Aurige, pa zato, ovaj model nije mogao da zadovolji. 1955. godine predloženo je drugačije rješenje. Po njemu, oko zvijezde F kruži mali saputnik I koga obaviya ogromni skup gasovitih oblaka koji se haotično kreću. U sistemu dolazi do jonizacije gasovitih potoka koji time postaju neprozračni. Pomračenje nastupa upijanjem svjetlosti zvijezde F u oblaku nevidljivog saputnika. To je prikazano na slici 2.31.

Šezdesetih godina M.Hak je dala još jednu sličnu hipotezu. Po njoj, saputnik zvijezde F obavijen je moćnim gasovitim oblakom. Svojim zračenjem



Sl.2.31.

(temperatura sputnika po M.Hak iznosi  $20\ 000^{\circ}\text{K}$ ), sputnik jonizuje svoj oblak stvarajući neprovidnu jonosferu. Ta jonosfera upija svjetlost zvijezde F u vrijeme pomračenja (Sl.2.32).



Sl.2.32.

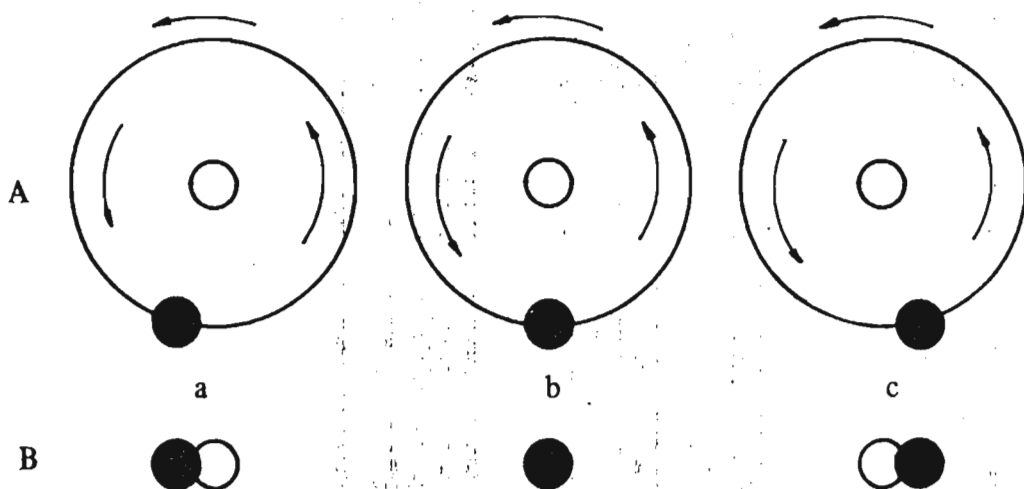
Jasno da nijedan od predloženih modela ne može da potpuno objasni stranu prirodu  $\epsilon$  Aurige. Ali, ovo je dovoljno indikativno da nam ukaže na izuzetnu zanimljivost svijeta pomračujućih zvijezda.

Posljednje pomračenje ovog sistema desilo se u periodu 1982-84.g., i rezultati se još obrađuju. U tom periodu, a u okviru međunarodne kampanje za fotoelektrična i spektroskopska posmatranja ove zvijezde, mjerenja sjaja  $\epsilon$  Aurige vršena su i sa Astronomske opservatorije u Sarajevu.

2.16 ROTACIJA ZVIJEZDA

Do prvih podataka o sopstvenoj rotaciji zvijezda došlo se istraživanjem krivih brzina pomračujućih dvojnih sistema. Primjećeno je da, u vrijeme djelimičnog pomračenja, prije glavne faze, radijalne brzine postaju veće nego što bi to trebalo biti prema Keplerovim zakonima. Poslije glavne faze radijalne brzine se smanjuju.

U slučaju "a" na slici 2.33, tamna komponenta je izazvala parcijalno pomračenje svjetlije komponente. Streljice na slikama označavaju smjer rotacije tamne komponente i smjer rotiranja centralne zvijezde. U nizu slika (B) vidi se izgled pojave za posmatrača koji je smješten u ravni crteža. Spektar



Sl.2.33. Pomračujući sistem gledan "odozgo" i sa "strane".

je moguće dobiti samo od svjetlije komponente. Na slici "a" dobijamo spektar onog dijela zvijezde koji se udaljava od posmatrača zbog rotacije.

U momentu maksimalne faze (slučaj b), radijalna brzina jednaka je 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 se dolazi do podataka o rotaciji i onih zvijezda koje ne ulaze u sastav tijesnih parova.

Pokazalo se da veoma veliku brzinu rotacije imaju zvijezde spektralnih tipova O, B i A, a zvijezde kasnijih spektralnih tipova rotiraju znatno sporije.

## 2.17 RAĐANJE I EVOLUCIJA ZVIJEZDA

Astronomi se uglavnom slažu da se zvijezde rađaju u grupama, kondenzacijom materije iz kompleksa međuzvezdane prašine i gasova. Ovo je, naravno, još uvijek hipoteza, ali potkrepljena nekim posmatračkim podacima. Obično se taj proces prelaza gasovito - prašinastog oblaka u zvijezde sa termonuklearnim izvorima energije naziva protozvezdani stadij u evoluciji zvijezda. Mnoge osobine međuzvezdane materije još uvijek nisu poznate. Kod materije smještene u blizini toplih zvijezda tipova O i B temperatura tih oblaka može da se kreće oko  $100^{\circ}$  do  $200^{\circ}$ K. Posmatranja oblasti koncentracije međuzvezdane materije pokazuje da ona nije ravnomjerno raspoređena, već da se sreću haotična zgušnjavanja i razrjeđenja. Pod djelovanjem gravitacije dolazi do postepenog zgušnjavanja gasa. To se u ovom slučaju ne dešava, što je veoma važan zaključak. Zahvaljujući mehanizmu hlađenja međuzvezdanog gasa u tom oblaku koji se skuplja ne dolazi do povišenja temperature i gasa u razmjerima dovoljnim da se suprotstave skupljanju. Zbog toga se skupljanje duže vrijeme nesmetano produžava. U toku daljeg procesa, oblak počinje da se drobi na manje dijelove koji se nastavljaju skupljati svaki za sebe. Iz ovoga proizilazi zaključak o rađanju zvijezda u grupama.

Vremenom se ova protozvezda počela zagrijavati sa porastom gustine materije u njoj. U jednoj fazi razvoja, materija protozvezde postaje neprozračna pa se energija napolje ne može prenositi zračenjem već drugim načinima. Ta neprozračnost utiče na brži rast temperature unutrašnjosti. Za spoljnog posmatrača pri prolasku protozvezde kroz neke od opisanih stadija zvijezda postaje vidljiva u vidu dva glavna bljeska svjetlosti. Uopšte, u ovom stadiju istorije, zvijezda uglavnom zrači u infračrvenom dijelu spektra.

Kako se zvijezde kondenzuju to se materija u unutrašnjosti sabija i sa tim porastom gustine raste i temperatura. Kada temperatura pređe 10 miliona stepeni Kelvina tada u centrima zvijezda, masivnih poput Sunca, počinju nuklearne reakcije i stvaranje težih elemenata. Te reakcije se nazivaju termonuklearnim jer su za njihovo odvijanje neophodne visoke temperature. Da bi došlo do fuzije lakih jezgri kakve su vodonikove dovoljne su temperature iznad 10 miliona stepeni, a za teža jezgra kakva grade ugljenik i kiseonik npr, potrebna temperatura penje se i do milijardu stepeni Kelvina. Obzirom da fuzija dvije atomske jezgre oslobađa energiju to ovaj proces zovemo nuklearno sagorjevanje, mada je taj proces različit od gorenja koje poznajemo u hemiji.

Porastom temperature u novoformiranoj zvijezdi prvi u nizu nuklearnih procesa je prelazak vodonika u helijum. Obzirom da u unutrašnjosti zvijezda nema slobodnih neutrona, (oni su nestabilni i imaju vrijeme poluraspada od 11 minuta) to stvaranje helijuma počinje spajanjem dva protona i izbacivanjem pozitrona. Time se stvara deuterijum ili teški vodonik koji je graden od jednog protona i jednog neutrona. Dva jezgra teškog vodonika spajanjem grade

jezgro helijuma. Nakon određenog vremena (milion godina za najmasivnije zvijezde, a mnogo više za one manje masivne) čitav vodonik u centralnim zonama zvijezde prelazi procesom fuzije u helijum. Kada se potroši sav vodonik u jedru zvijezde ono se skuplja i temperatura mu pri tome raste na 200 miliona stepeni K. Tada počinje nuklearno gorenje helijuma. Tri jezgre helijuma formiraju jedno jezgro ugljika. Taj proces nije direktan. Najprije se dva jezgra spoje u jedno stvarajući nestabilno jezgro berilijuma, koje se raspada vrlo brzo ( $2 \cdot 10^{-16}$  s). Ako treće jezgro helijuma stupi u reakciju sa berilijumom, prije njegovog raspada, tada će formirati stabilno jezgro ugljenika. Velika gustina materije je neophodna da bi se ostvarilo takvo spajanje u kratkom vremenu.

Nakon novog vremenskog intervala sav helijum u središtu masivne zvijezde pretvoriće se u ugljenik i kiseonik kojih će biti procentualno u jednakim količinama. Zvijezda će nastaviti da se skuplja, a njena unutrašnja temperatura porasće do vrijednosti kada ugljenik počinje sagorjevanje. U tom procesu, spajaju se dva jezgra ugljenika, oslobađajući jedno jezgro helijuma a rezultat te fuzije je jezgro neona. Negdje u vrijeme kada ugljenik ulazi u igru, između jedra zvijezde i vanjskog omotača koji još uvijek sadrži dovoljno vodonika, formira se sloj čistog helijuma. Jedro se i dalje skuplja, a vanjski slojevi se šire na razdaljinu od više sunčevih radiusa. Potrošnjom ugljenika počinje fuzija još težih elemenata. Proces se završava kada se postigne temperatura od nekih 5 milijardi stepeni K, a jedro zvijezde bude građeno, uglavnom, od željeza i elemenata kao što su hrom i nikl. Može se postaviti pitanje - zašto se proces fuzije ne nastavi sve do stvaranja onih najtežih elemenata, kao što je uranijum. Međutim, proizvodnja težih elemenata od željeza fuzijom, ne bi vodila oslobađanju energije, već bi naprotiv iziskivala energiju.

Šta će se na kraju desiti sa zvijezdom zavisi prvenstveno od njene mase. Zvijezde manje mase od Sunca živjeće mnogo milijardi godina i umrijeće tiho. Skupljaće se dok imaju energije, zatim će prestati da zrače, i ohladiće se do kraja. One najvjerovatnije nikada ne mogu doći do viših stupnjeva fuzije, jer im se jedro zbog male mase, ne može dovoljno komprimirati, da bi temperatura bila visoka.

Zvijezde koje su masivnije više od 5 do 10 puta od Sunca umiru nekoliko miliona godina nakon rođenja. Njihova je smrt spektakularna. Eksplodirajući kao supernove one svojim sjajem nadmašuju sjaj 100 milijardi zvijezda koje tvore prosječnu galaksiju. Eksplozija počinje u jedru i udarni talas raznosi vanjske slojeve zvijezde ogromnom brzinom od 10 000 km/s i više. Kao posljedica te eksplozije može se formirati novo jedro od željeza i njemu bliskih elemenata. Proizvodnja ogromnog broja neutrona u procesu eksplozije, kao i njihovo spajanje sa željeznim jezgrima, vodi formiranju i težih elemenata, kao što je uran. Kao dodatna fascinantna mogućnost je formiranje neutronske

zvijezde, kolapsom središnjih dijelova zvijezde. U slučaju mnogo masivnijih zvijezda dolazi do obrazovanja crne jame.

Dio materijala koji se izbací u svemirski prostor nakon eksplozije supernove, dopunjava rezerve međuzvezdanog gasa, posebno, težim elementima.

Obzirom da se sve zvijezde nisu rodile u jednom kratkom vremenskom periodu nego se radaju i danas, to se i ta činjenica mora uzeti u obzir. Zvijezda nastala kao produkt evolucije ranije nastalih zvijezda i formirana od gasa bogatog težim elementima, biće nešto drugačija. Tako će njena ugljikova jezgra, hvatajući protone nastale procesom izgaranja vodonika, da prelaze u azotne jezgre. U svim ovim pojednostavljenim razmatranjima nisu uzimani u obzir izotopi. Izotop nekog elementa ima isti naboj jezgre ali različitu masu.

Novija razmatranja polaze od toga da u evoluciji zvijezda važnu ulogu imaju ranije opisane eksplozije supernovih, ma kako rijetko izgledalo njihovo pojavljivanje. U kosmičkih razmjerama čak i tako rijetke pojave vremenom proizvedu značajne efekte. Obogaćivanje međuzvezdanog gasa težim elementima omogućava stvaranje masivnih i izuzetno sjajnih zvijezda, kakve se mogu pronaći u našoj i drugim galaksijama.

Na kraju se možemo upitati, do kada će taj proces evolucije i radanja novih zvijezda da traje. Jednom, tom procesu mora doći kraj, jer se samo dio materije vraća u međuzvezdani gas. Zvijezde koje umru ohladene (a takvih je mnogo) praktično zadržavaju svoju materiju kao mrtva, hladna i čvrsta tijela. Kada se potroše sve rezerve međuzvezdanog i međugalaktičkog gasa, zvijezde će se prestati radati. One davno nastale umirat će jedna za drugom. Sunce i stare zvijezde hladiće se i nestajati sa kosmičke scene. Samo bi rijetki međuzvezdani sudari mogli unositi kratkotrajne bljeskove. Svemir će u tim dalekim eonima očito biti mračan i hladan.

Za ovakav kraj potrebno je još oko sto milijardi godina. Najveći dio tog perioda život bi mogao opstati na korištenju rezervi urana u planetskim masama, a da ne govorimo o drugim mogućim izvorima energije, koji tek čekaju da budu otkriveni. Naravno, konačni kraj svemira (mi smo opisivali ovdje mogući kraj zvijezda) može biti različit, u zavisnosti od toga koji je kosmološki model ispravniji. No, o tome kasnije.

Ovaj grubi opis morao bi se obogatiti i drugim evolucionim putevima koji proističu iz raznolikosti zvjezdane populacije koju susrećemo.



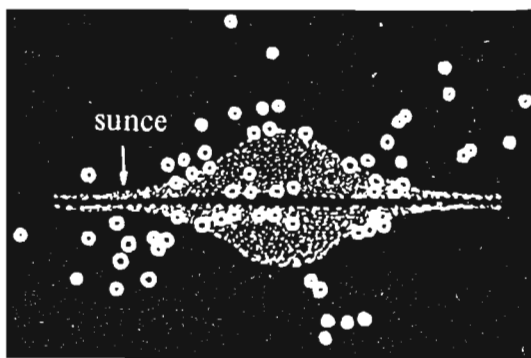


### 3. GALAKTIČKA ASTRONOMIJA

#### U V O D

U tamnim noćima bez mjesečine, sa svih mjesta van većih gradova, može se vidjeti nepravilna traka svjetlosti koja se pruža od horizonta do horizonta. Naš narod obično je naziva Mliječni put, Kumova slama ili Rimska cesta.

Dugo vremena o prirodi ove svjetlucave trake nije se znalo gotovo ništa. Otkriće teleskopa pokazalo je da se tu radi o ogromnoj količini zvijezda koje, zbog velikih udaljenosti, liče na magličasti pojas. Prva istraživanja Mliječnog puta započeo je Vilijem Heršel. On je sistematski vršio brojanje zvijezda na izabranim dijelovima neba. Njegova posmatranja pokazala su da količina zvijezda koje se mogu izbrojati u vidnom polju teleskopa, raste sa približavanjem traci Mliječnog puta. Time se došlo do zaključka o postojanju ogromnog zvjezdanog sistema u obliku sočiva. Veliki krug nebeske sfere koji prolazi kroz središnje dijelove Mliječnog puta je, u stvari, presjek ekvatorijalne ravni našeg zvjezdanog sistema sa nebeskom sferom. Sunce se nalazi u blizini ekvatora Mliječnog puta i zato, kada posmatramo nebo u tom pravcu, vidimo više zvijezda nego kada posmatramo nebo paralelno sa osom naše galaksije. Slika 3.1. nam pokazuje približan položaj Sunca u našoj galaksiji.



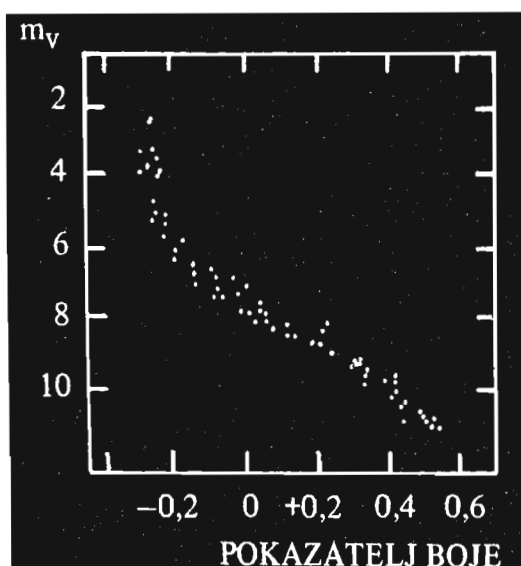
Sl. 3.1. Crtež naše galaksije.

Prema savremenim mjerenjima, prečnik naše galaksije iznosi nekih 100 000 svjetlosnih godina a debljina na najširem dijelu je 8000 s.g. Pošto se ovaj sistem sastoji od ogromnog broja zvijezda, ne može se govoriti o nekim strogo određenim granicama. Ukupan broj zvijezda koje grade Mliječni put trebalo bi, prema nekim procjenama, da iznosi 200 milijardi zvijezda. Sada ćemo se najprije upoznati sa osnovnim objektima naše galaksije, a onda ćemo reći nešto više o njenoj strukturi u cjelini.

### 3.1 ZVJEZDANI SKUPOVI

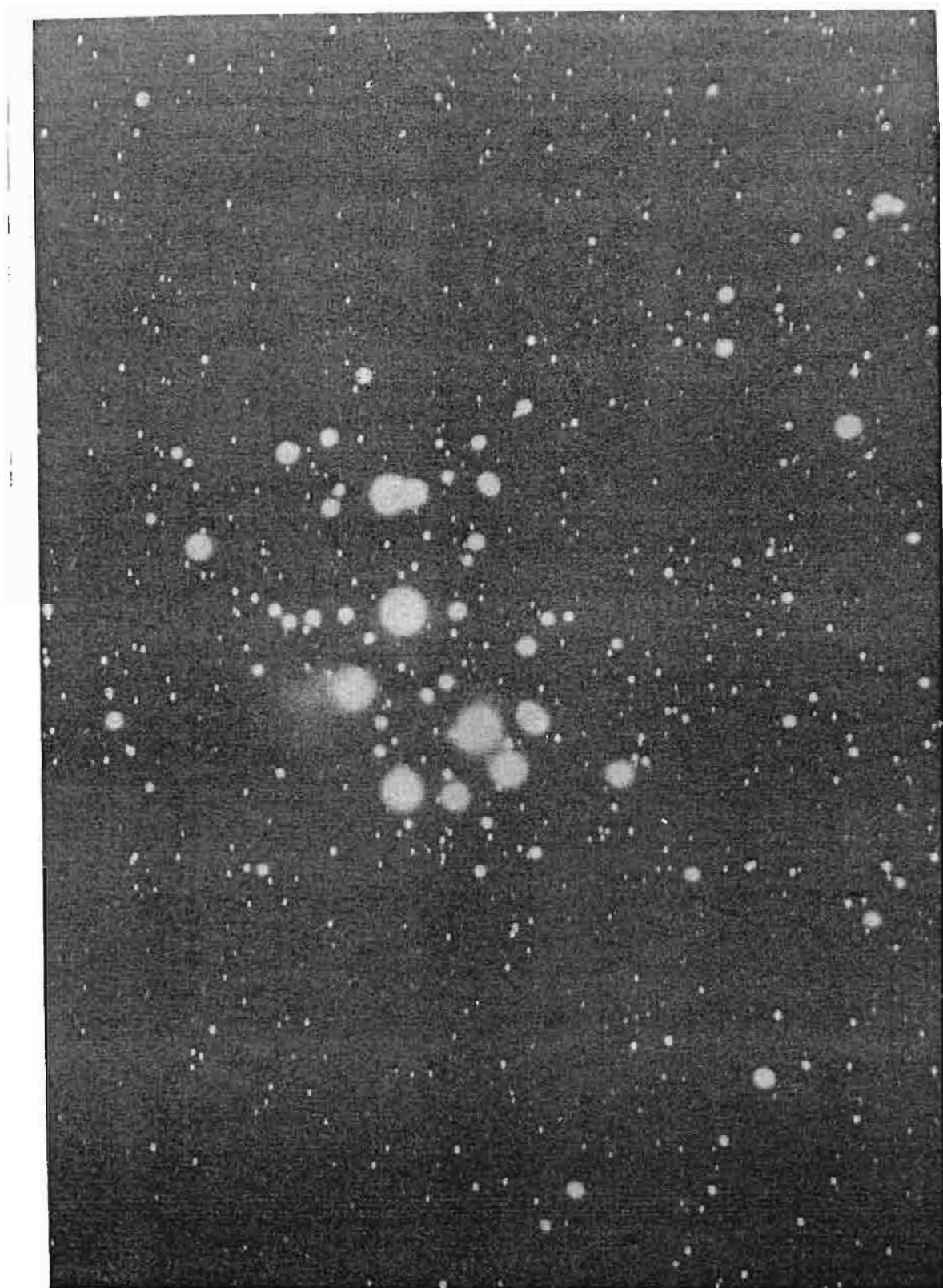
Još je Messier u svoj katalog unio veći broj zvjezdanih skupova koji su u malim teleskopima ličili na svjetle mrlje. U Mliječnom putu imamo dva osnovna tipa skupova. To su rasijani i kuglasti.

Rasijani zvjezdani skupovi sastoje se, obično, od nekoliko stotina zvijezda. Klasični primjer jednog takvog skupa su Plejade koje se jasno vide golim okom. Ovi skupovi nemaju neki određen oblik, već se tu radi o hrpi zvijezda skupljenih na jednom malom dijelu neba. Za rasijane skupove je karakteristično da se najvećim dijelom sastoje od bijelih i plavih zvijezda giganta. Žuti i crveni giganti sreću se veoma rijetko, a postojanje crvenih i žutih supergiganta, uopšte nije opaženo. Za sve ove skupove od velikog značaja je postavljanje dijagrama "prividni sjaj - kolor indeks". Obično su zvijezde raspoređene u jednom nizu. Za slučaj skupa Plejade, dijagram izgleda kao na slici 3.2.



Sl.3.2. Dijagram prividni sjaj-kolor indeks za Plejade.

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. Jedna od metoda bazirana je na mjeranju 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.



Sl.3.3. Rasijani zvjezdani skup Plejade. (Fotografija Astronomske opservatorije u Sarajevu. Snimio M. Muminović).



Sl.3.4. Rasijani zvjezdani skupovi M 46 i M 47 u sazviježdu Pupis.  
(Snimak: M.Muminović, Astronomska opservatorija, Sarajevo).

Dijametri rasijanih skupova kreću se u intervalu 1.5 do 20 ps, a gustina ide od jedne do 80 zvijezda na kubni ps (parsek). Treba napomenuti da zvijezde, koje ulaze u sastav ovih skupova, nisu slučajno nabacane hrpe sunaca, već da su povezane gravitacionim silama. Kod nekih bližih skupova opažena su zajednička kretanja u prostoru. Na nekoliko priloženih fotografija načinjenih na Astronomskoj opservatoriji u Sarajevu, mogu se uočiti najkarakterističniji oblici rasijanih skupova.

Specijalnu vrstu galaktičkih skupova sačinjavaju zvijezdane asocijacije. Ambarcumijan je ustanovio da su sjajne zvijezde visokih temperatura (klase O, B0, B1, B2) raspoređene na nebu u skupovima. Obično se, u jednom takvom "gnijezdu", nalazi nekoliko desetina vrućih giganata. Ovakvi skupovi nazivaju se O-asocijacijama. Utvrđeno je da ti sistemi nisu nepokretni (u smislu unutrašnjih kretanja). Zvijezde koje ih grade postepeno se udaljuju jedna od druge i asocijacije se, nakon izvjesnog vremena, raspadaju. Činjenica da se u asocijacijama javljaju zvijezde-giganti visokih temperatura, i da se relativno brzo udaljuju jedna od druge, dovela je do pretpostavke da su se one formirale ne tako davno, odnosno, da se radi o mladim zvijezdama. Vrijeme potrebno da zvijezde iz centra jedne asocijacije dospiju na današnje rastojanje, od tog istog središta, obično nije veće od milion godina. To znači da bi ove zvijezde upravo toliko trebalo da budu stare.

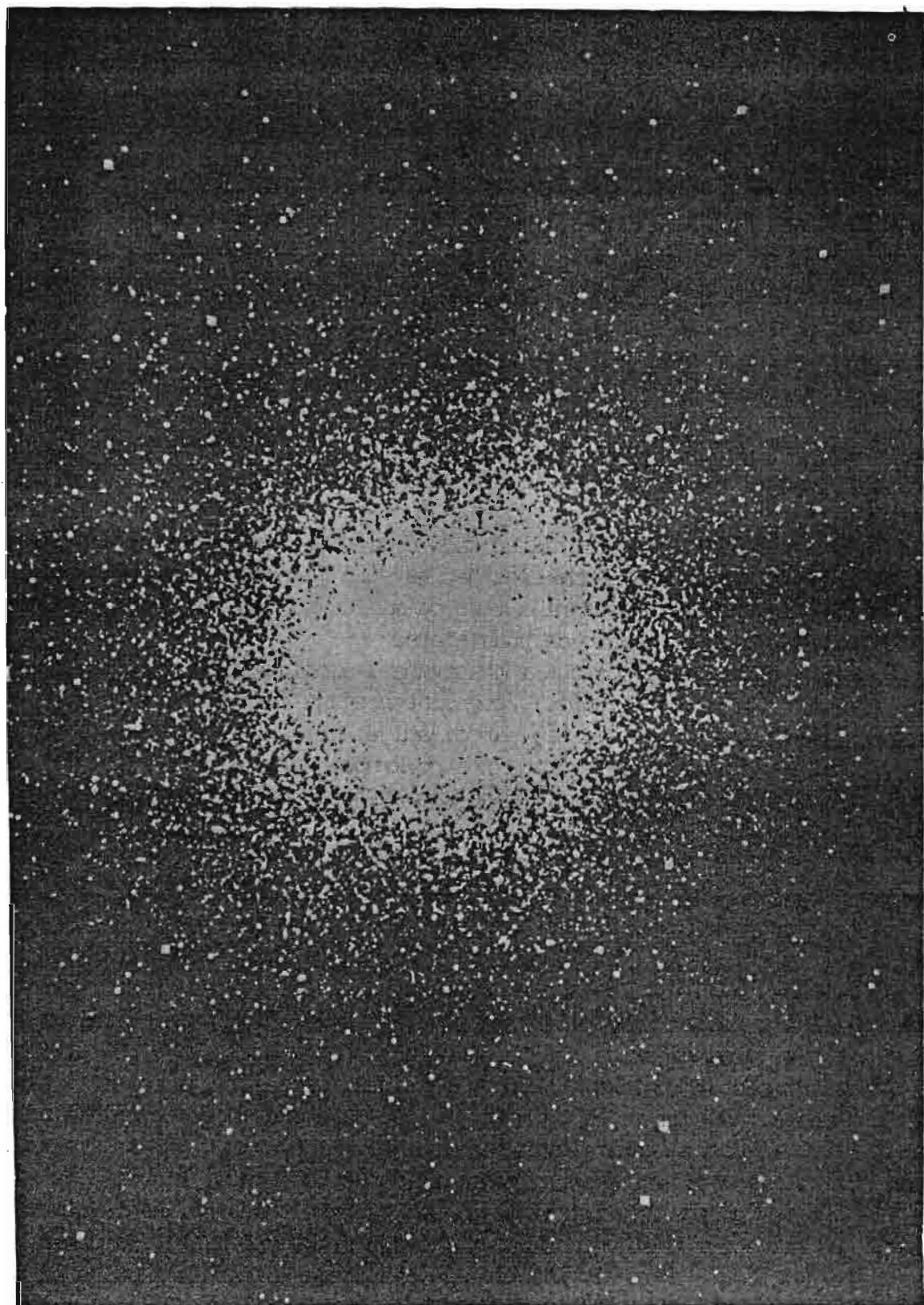
Pored O-asocijacija postoje i takozvane T-asocijacije. Njih grade promjenljive zvijezde tipa T Tauri. Zbog slabog sjaja ovih zvijezda moguće je posmatrati samo srazmjerno bliske T-asocijacije.

Kuglasti skupovi predstavljaju znatno krupnije galaktičke koncentracije zvijezda. U malim teleskopima vide se kao svijetle mrlje pravilnog kružnog oblika.

Pomoću velikih teleskopa utvrđeno je da se kuglasti skupovi sastoje iz ogromnog broja zvijezda. Na pojedine zvijezde moguće je rastaviti samo vanjske dijelove ovih skupova. Središnje zone, zbog velike gustine zvijezda i ogromnih udaljenosti kuglastih skupova, nije moguće razdvojiti. U prosjeku, dijametri ovih skupova kreću se oko 40 parseka. Kuglasti skupovi raspoređeni su u obliku sfernog "haloa" oko Mliječnog puta. Na slici 3.5. data je fotografija kuglastog zvjezdanog skupa M 13 u Herkulu, koji je udaljen 10 000 parseka.

Zvjezdani sastav kuglastih skupova suštinski se razlikuje od sastava rasijanih skupova. U ovim zvjezdanim koncentracijama ima mnogo crvenih i žutih giganata, kao i super-giganata ovih boja. Bijelih i plavih giganata ima znatno manje, a plavi i bijeli super-giganti se uopšte ne sreću. U ovom tipu skupova ima i mnogo promjenljivih zvijezda, dok gasova i prašine, koji su karakteristični za većinu rasijanih skupova, ovdje praktično nema. Do danas je poznato 119 kuglastih skupova. Ispitivanje rasporeda kuglastih skupova na nebu dovelo je do otkrića položaja u kome se nalazi središte naše galaksije. Naime, ako se pretpostavi da su kuglasti skupovi raspoređeni simetrično u odnosu na centar Mliječnog puta, onda se može smatrati da se središte našeg





Sl.3.5. Kuglasti zvjezdani skup M 13 u sazviježdu Herkul.  
(Fotografija Mt. Palomar opservatorije).

zvjezdanoj sistema poklapa sa središtem sveukupnosti kuglastih skupova.

Ovakvo razmatranje proveo je 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 Mliječni put. Time je srušen još jedan san o izuzetnosti našeg planetarnog sistema i Zemlje.

### 3.2 DIFUZNE MAGLINE

Često se na nebu sreću tamni ili svijetli oblaci nepravilne forme. To su difuzne magline. Od svijetlih maglina naročito se ističe Velika maglina u Orionu. Udaljena je oko 1000 s.g. i nazire se i golim okom. Ima prečnik od 15 s.g., a u njenom spektru mogu se opaziti emisijske linije vodonika, helijuma i drugih elemenata. Orionova maglina spada u grupu emisijskih maglina koje su uvijek povezane sa vrućim zvijezdama tipova O, B0 i B1.



Sl.3.5 Velika maglina u Orionu. (Fotografija Astronomske opservatorije u Sarajevu. Snimio M.Stupar).

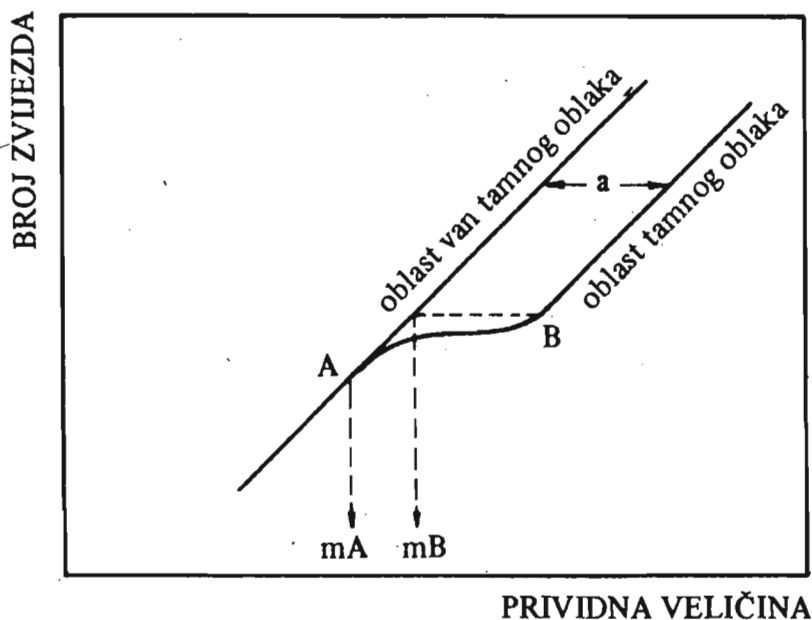
Atomi materije iz koje su građene svijetle magline upijaju moćno ultraljubičasto zračenje susjednih zvijezda, a zatim ga, ponovo, zrače drugim



talasnim dužinama. Neke difuzne magline ovog tipa emituju apsorpcione spektre slične spektrima nekih, njima susjednih, zvijezda. To nas navodi na zaključak da one svijetle odbijenom svjetlošću koju šalju susjedne zvijezde. Mase svijetlih maglina kreću se od jedne desetine pa do stotinu sunčevih masa. Poseban slučaj predstavljaju vlaknaste magline koje su većinom ostaci eksplozija supernovih zvijezda.

Tamne difuzne magline vide se u obliku crnih neprozračnih mrlja različitih oblika. U oblasti tamnih maglina vidi se veoma malo zvijezda zbog velike apsorpcije svjetlosti. 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 ugao nu mjeru), u tamnom oblaku i u susjednim oblastima van njega. Razmatranje se vrši preko Volfvog dijagrama (Sl.3.6).

Ove dvije krive iz grafika "broj zvijezda-prividna veličina" su na slici 3.6. shematski predstavljene, jer u stvarnosti njihov oblik nije linearan. Van oblaka broj zvijezda sa slabijim prividnim veličinama raste po nekom određenom zakonu. Kod zvijezda koje se nalaze iza oblaka mora se uzeti u obzir veličina apsorpcije, pa one izgledaju slabije za neku veličinu. Razmatranje se vrši na slijedeći način. Pođe se od toga da se, na primjer, na kojoj



Sl.3.6. Volfvog dijagram.

bi se udaljenosti mogla nalaziti većina zvijezda da bi im prividni sjaj bio 8-e veličine. Pokazuje se da je ta udaljenost reda 125 ps. Ako se pretpostavi



Sl.3:7. Tamna maglina Konjska glava u sazviježdu Orion.  
(Fotografija Astronomske opservatorije u Sarajevu. Snimio M.Stupar)



Sl.3.8. Planetarna maglina NGC 7293 u sazviježdu Vodenjak.  
(Fotografija Astronomske opservatorije u Sarajevu. Snimio M.Stupar).

da je veličina apsorpcije za taj oblak takva da se upija jedna zvjezdana veličina, onda se brojanjem zvijezda dolazi do sljedećeg zaključka. Broj zvijezda 8-e veličine u nezatamnjenjnoj oblasti približno je jednak broju zvijezda 9-te veličine u oblasti tamnog oblaka. To je zato što prividni sjaj zvijezde osme veličine opada na devetu veličinu, a u prosjeku, broj zvijezda odrđene veličine, kada ne bi bilo oblaka, jednak je za neku užu zonu neba. Moglo bi se primijetiti da bi zvijezda 7-e veličine trebalo da se vide kroz oblak kao objekti osme veličine. Međutim, ovo ne utiče na razmatranja, jer smo ranije pretpostavili da je većina zvijezda sa tom veličinom na rastojanju manjem od 125 ps., pa se, prema tome, one nalaze ispred oblaka i njihova svjetlost nije apsorbovana.

Broj zvijezda 10-te veličine, u tamnom oblaku, bio bi jednak broju zvijezda 9-te veličine van tamnog oblaka. Znači, da se u ovom slučaju maglina nalazi na udaljenosti od 125 ps. Veličina apsorpcije nije uvijek ista i određuje se pomoću spektralnih ispitivanja zvijezde u toj oblasti. Gornji primjer je bio za slučaj kada je opažena apsorpcija zvijezde 8-e veličine kao prva u nizu.

Ukoliko se prva apsorpcija utvrdi za zvijezde neke druge veličine, onda se, na sličan način, teoretski dolazi do udaljenosti na kojoj bi se mogla nalaziti većina zvijezda te prividne veličine.

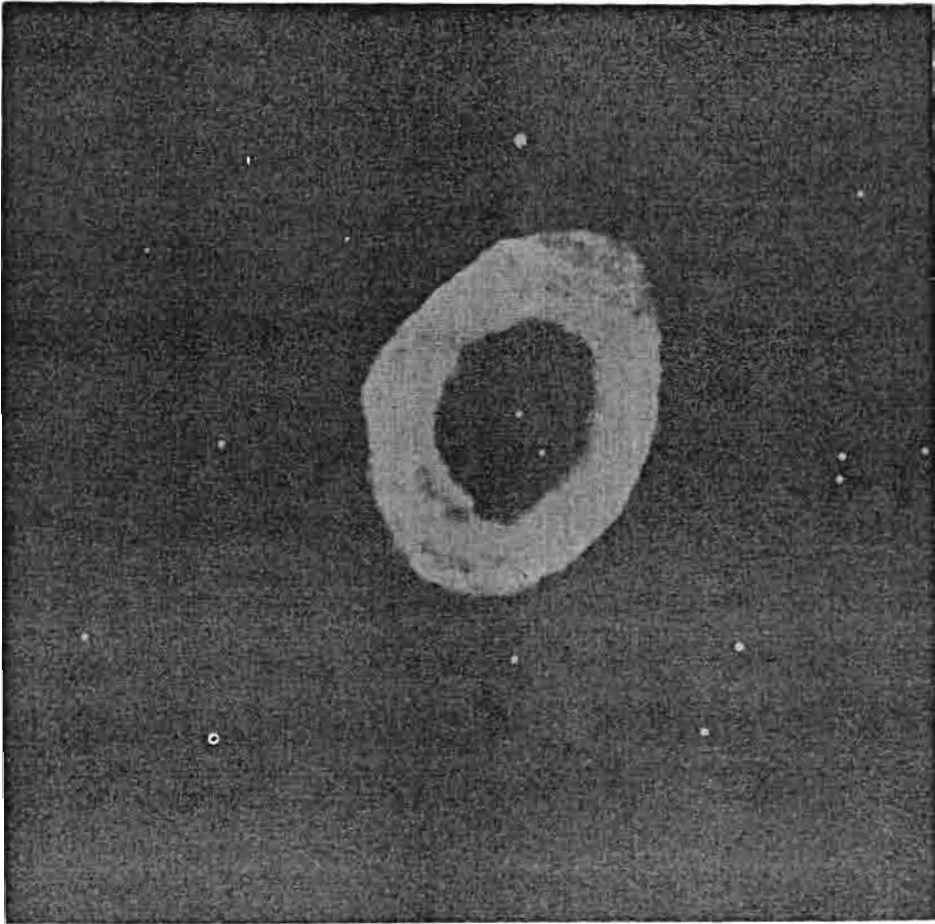
Tamne magline najčešće se sreću u oblastima Mliječnog puta zajedno sa svijetlim difuznim maglinama. Poznato je da u ekvatorskim zonama Mliječnog puta leže velike količine tamne materije. O sastavu materije koja ih gradi može se samo nagađati na osnovu veličine apsorpcije zvjezdane svjetlosti.

### 3.3 PLANETARNE MAGLINE

Svoj naziv su dobile zbog sličnosti sa izgledom nekih planeta. Većina planetarnih maglina ima izgled zelenkastih diskova, a upravo tako izgledaju planete Uran i Neptun, gledane slabim teleskopima. Danas je poznato oko 500 planetarnih maglina. Mnoge od ovih maglina imaju oblik prstena kao čuvena maglina M 57 u sazviježđu Lire (Sl.3.9).

Zelenkasta boja ovih maglina potiče od zelenih linija jonizovanog kiseonika sa talasnim dužinama 496 nm i 500 nm. Svojevremeno se smatralo da te linije pripadaju nekom novom elementu koji je nazvan nebulijum.

U središtu većine planetarnih maglina opaža se zvijezda slabog sjaja. Te centralne zvijezde imaju veoma visoke površinske temperature koje se kreću od 50 000°C do 100 000°C. Zvijezde izgledaju slabog sjaja zato što veći dio svog zračenja emituju u, za oko nevidljivoj, ultraljubičastoj oblasti spektra. Gasovi i čestice koji grade maglinu upijaju to zračenje i emituju ga u području vidljivog spektra. Zbog toga je integralni sjaj magline, naizgled, veći od sjaja središnje zvijezde. Fotografije jedne od najbližih i najvećih planetarnih maglina pokazale su postojanje velikog broja vlakana. Ova maglina



Sl.3.9. Planetarna maglina M 57 u sazviježdu Lire.  
(Fotografija Lick opservatorije).

(Sl.3.8) nalazi se u sazviježdu Vodenjaka i nosi oznaku NGC 7293. Ova vlakna navode na ideju da se tu dešava prilično burno kretanje. Ista pojava opažena je još kod nekih maglina ovog tipa.

Planetarne magline su veoma prozračne, pa se tako kroz maglinu NGC 7293 mogu vidjeti neke daleke galaksije. Sve one šire se sa brzinama 10 do 50 km/s. To je ustanovljeno na osnovu rascjepljenosti njihovih spektralnih linija. Nama okrenuti dio magline ima spektar sa linijama koje su pomjerene ka crvenom kraju, a suprotni dijelovi magline imaju spektralne linije pomjerene ka ljubičastom dijelu spektra. Slaganjem ova dva spektra, koje je moguće zbog prozračnosti maglina, nastaje spektar sa rascijepljenim linijama.

Oblak gasova koji gradi planetarnu maglinu i centralna zvijezda su, vjerovatno, u međusobnoj vezi. Putevi nastanka i razvoja ovih objekata još nisu poznati, mada je sigurno da je gasoviti oblak okružujućeg gasa izbacila zvijezda.

## 3.4 MEĐUZVJEZDANA SREDINA

Pored ogromnih oblaka materije koji se vide u obliku maglina, Mliječni put sadrži nevidljivu i veoma razrijeđenu materiju. Uticaj ove materije prvenstveno se ogleda u slabljenju svjetlosti zvijezda. U zavisnosti od koncentracije međuzvezdane materije, prividna veličina jedne zvijezde koju registrujemo nije sasvim tačna, već je zvijezda u stvarnosti nešto sjajnija. Kod raznih astronomskih mjerenja veličina apsorpcije mora se uzimati u obzir. Što je ona veća, to je svjetlost zvijezde crvenija. Direktno mjereni pokazatelj boje i onaj koji se dobije spektralnim mjerenjem zbog upijanja svjetlosti, nešto će se razlikovati. Razlika ova dva pokazatelja boje može nam dati veličinu apsorpcije.

Postojanje ove međuzvezdane materije ustanovljeno je na slijedeći način: u spektrima nekih, međusobno bliskih zvijezda, postoje tamne linije jonizovanog kalcijuma koje ne učestvuju u kretanju ostalih spektralnih linija. Kao što smo ranije vidjeli, ovo kretanje spektralnih linija prouzrokovano je prostornim pomjeranjem komponenti dvojnog sistema. To znači, da je taj kalcijum smješten između tih zvijezda i nas.

Isto tako, kod nekih zvijezda O i B opažene su kalcijumove linije koje, prema teoriji jonizacije kod zvijezda ovih klasa, ne bi smjele da postoje. Pored kalcijuma kasnije su otkriveni i neki drugi elementi koji ulaze u sastav međuzvezdane materije.

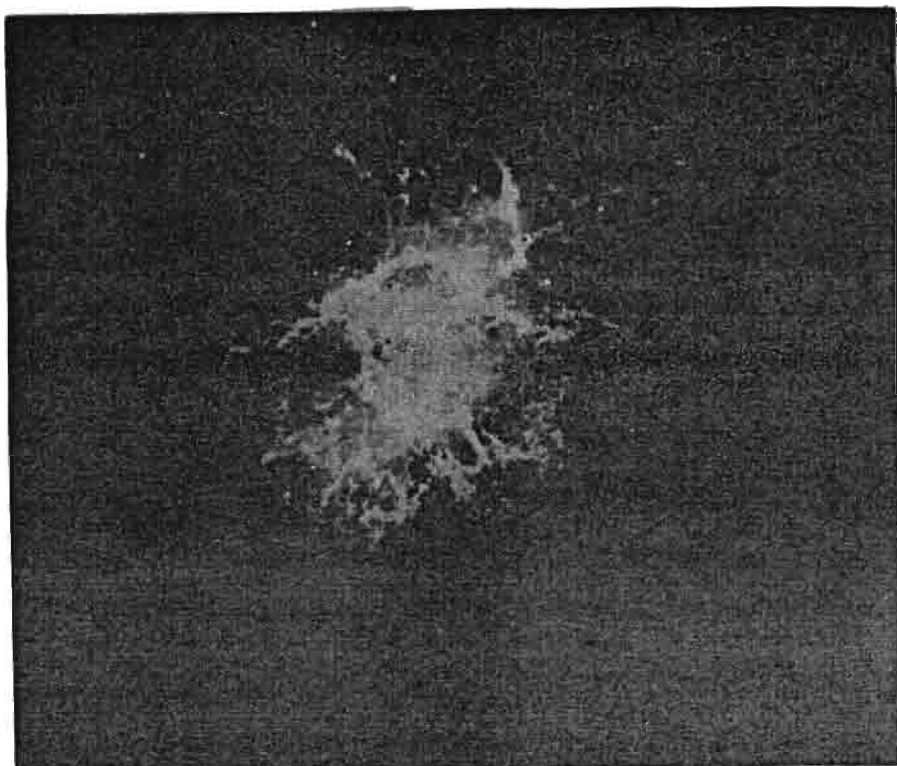
## 3.5 KRAB MAGLINA

Za savremenu astronomiju ovaj objekat ima izuzetno veliki značaj, pa mu zato posvećujemo posebno mjesto (Sl.3.10). U katalogima ova maglina nosi oznaku M 1 ili NGC 1952. Krab maglina je prvi optički identifikovani radio izvor u našoj galaksiji. Ona je, takođe, i prvi izvor rentgenskog zračenja koji je otkriven van Sunčevog sistema. Krab maglina odaje specijalno zračenje sinhronog tipa.

Kao što smo već rekli, maglina M 1 je ostatak supernove, koja je u našoj galaksiji eksplodirala 1054. godine. Mjerenja fotografija koje su načinjene u razmacima od po nekoliko godina pokazuju da se Krab maglina širi. Spektralna mjerenja daju podatke da se materija u maglini širi sa brzinama od 200-1200 km/s. Na osnovu veličine širenja određena je i udaljenost magline koja iznosi 1300 ps.

Spektar Krab magline, u svom opštem izgledu, liči na spektre planetarnih maglina. U njemu su opažene emisione linije jonizovanog kiseonika, azota i drugih elemenata. Međutim, kod ove magline postoji nešto specifično. To je intenzivni kontinuirani spektar. Najveći dio zračenja magline otpada na nje-ga. Veoma interesantni rezultati dobijeni su kada se pristupilo snimanju ovog objekta kroz različite monohromatske filtere. U svjetlostima vodonikove





Sl.3.10. Krab maglina (M 1). (Fotografija Mt. Palomar opservatorije).

linije  $H\alpha$  i linijama jonizovanog azota opaža se da je maglina sastavljena od velikog broja sjajnih vlakana. Ona daju emisijske linije u spektru. Ostala materija magline emituje neprekidni spektar.

Sjaj dijela magline koji daje neprekidni spektar Šklovski je objasnio teorijom sinhrotronog zračenja. Poznato je da sinhrotrono zračenje odaju relativistički elektroni, (tj. elektroni, čije su brzine bliske brzini svjetlosti) kada se kreću u magnetnim poljima. Putanja njihovog kretanja pri tome ima oblik zavojnice i elektroni zrače svjetlost. Ta svjetlost je u velikoj mjeri polarizovana i električni vektor, pomoću koga se vrši razmatranje prostiranja svjetlosti, osciluje u ravni normalnoj na pravac magnetnih silnica. Kada je utvrđeno da dijelovi Krab magline koji ne ulaze u sastav vlakana zrače polarizovanu svjetlost, bilo je razumno pretpostaviti da je to zračenje sinhrotronog karaktera. Talasne dužine tih zračenja odgovaraju brzinama elektrona. Tako najbrži elektroni emituju najkraće talase (gama i rentgenske zrake), a oni sporiji su odgovorni za radio zračenje.

Osnovni izvor energije ove magline je pulsar smješten u njenom središtu. O pulsarima će kasnije biti više riječi. Vlakna koja grade nesinhrotronski dio magline sastoje se, uglavnom, od helijuma, zatim kiseonika, ugljenika i još nekih elemenata. Prema japanskom teoretičaru Nomoto-u ovakva mješavina elemenata mogla je nastati od zvijezde 8 puta masivnije od Sunca. Polovina te



mase je nakon eksplozije ostala u vlaknima i centralnoj neutronske zvijezdi, a četiri solarne mase materije su rasijane u veliki halo oko Krab magline, koji je isuviše slab da bi se vidio na normalnim slikama.

### 3.6 STRUKTURA MLIJEČNOG PUTA

Sveukupnost milijardi zvijezda čini našu galaksiju. O njenoj strukturi saznaje se najviše posrednim putem i to posmatranjem drugih galaksija koje se nalaze na ogromnoj udaljenosti. Jedna od poteškoća direktnog ispitivanja strukture Mliječnog puta sastoji se u tome što se mi kao posmatrači nalazimo unutar nje. Jer, uvijek je lakše spoznati građu nekog sistema, ako ga posmatramo spolja, sa neke daljine, nego ako smo njegov dio. Ono što nije mogla dati optička astronomija, omogućila je radio astronomija.

Najvažnije detalje o strukturi galaksije dala su ispitivanja zračenja neutralnog vodonika na talasnoj dužini od 21 cm. Te zone su nazvane H I za razliku od zona H II, u kojima je vodonik jonizovan. Pomoću Doplerovog efekta mogu se odrediti brzine kretanja ovih masa gasa, a time približno i brzine kojima rotiraju pojedini dijelovi Mliječnog puta. Intenzitet zračenja ukazuje na gustinu međuzvezdanog vodonika u pojedinim oblastima. Time se određuje položaj krakova galaksije koje optički nije moguće opaziti.

Novija istraživanja pokazuju da je galaksija građena iz nekoliko pod-sistema. Ovi podsistemi međusobno se razlikuju po opštem obliku i po fizičkim karakteristikama.

Ravanski podsistem ima veoma spljošten oblik i sastoji se od vrućih gigantata, dugoperiodičnih cefeida, rasijanih skupova, difuzne materije i većeg broja običnih zvijezda kao što je Sunce. Ovaj podsistem ima spiralnu strukturu, što je utvrđeno radio putem. Drugi karakteristični podsistem je sferni. U njega ulaze kratko-periodične cefeide i kuglasti skupovi. Postoje i razni međusistemi koje karakterišu određeni tipovi zvijezda i planetarne magline. Zvijezde jednog podsistema mogu se sresti u drugom, ali u znatno manjem broju.

Središte naše galaksije leži na udaljenosti od oko 30 000 svjetlosnih godina, u pravcu sazviježda Strijelac. Oblaci tamne materije sakrivaju centralno jedro u vidljivom dijelu spektra. Druga zračenja mogu da produ nesmetano. Među njima su radio, infracrvena, rentgenska i gama zračenja. Rentgen-ski satelit "Albert Einstein", otkrio je više izvora ovog zračenja u centralnoj oblasti Mliječnog puta. Iz oblasti prečnika oko 300 s.g. dolazi intenzivno rentgensko zračenje. Ono bi moralo poticati ili od veoma vrućeg gasa u toj zoni, ili od veoma brzih elektrona. Pored ovog opšteg X-zračenja postoje i diskretni izvori koji bi mogli biti slabe rentgenske dvojne zvijezde, obično vruće mlade zvijezde, poput onih u Orionu, ili ostatci eksplozija supernovih kao što je "Kasiopeja A".

Najveći intenzitet rentgenskog zračenja dolazi iz tačke koja bi trebala da se podudara sa centrom Mliječnog puta. Iz iste tačke stiže i snažno gama zračenje čije fluktuacije ukazuju, da dimenzije izvora zračenja, ne bi mogle biti mnogo veće od dimenzija našeg Sunčevog sistema, odnosno, da je izvor razmjerno kompaktan. Sa druge strane, radio astronomi su među prvim radio izvorima otkrili "Sagittarius A". Detaljnija ispitivanja sistemom radio teleskopa (Very Large Array) dovela su do saznanja o postojanju "fine" strukture zapadnog dijela radio izvora izvora "Strijelac A" poznatoga kao "Sagittarius A West". Vrući gas u centru, (koji se podudara sa centrom galaksije), ima neobičan spiralni oblik. Samo središte, koje je u radio području centimetarskih talasa veoma sjajno, ima prečnik ne veći od milijardu kilometara. Ovo galaktičko jedro očigledno je izvor svih pominjanih zračenja, i podsjeća na slična jedra kod drugih galaksija. Tu se, očigledno, dešavaju procesi koji vode izbacivanju velikih količina vrućeg gasa, super brzih elektrona, zračenja, i slično.

Infracrvena svjetlost, zbog svoje prirode, može da prodre kroz oblake tamne materije i pokaže nam neke detalje u središtu Mliječnog puta. Veliki teleskopi sa Zemlje mogu da daju mnogo preciznije slike infracrvenih izvora nego što to mogu satelitski detektori, kakvi su bili oni na IRAS-u (InfraRed Astronomical Satellite). Otkriveni su infracrveni izvori različite prirode, koji su smješteni u blizini centra Mliječnog puta. Neki od njih su crvene supergigantske zvijezde od kojih je jedna 100 000 puta sjajnija od Sunca. Drugi izvori potiču od jonizovanog vodonika (H II oblasti) koji, okružuje vruće zvijezde, upija njihovu energiju i šalje je van u vidu infracrvenih zračenja.

Infracrveni izvor označen kao IRS 16 posljednjih godina privlači najviše pažnje. On se u položaju podudara sa radio izvorom "Sagittarius A West". Snažan je, kompaktan i po svemu sudeći, podudara se sa pravim jedrom Mliječnog puta. Ogromne brzine, spiralno krećućih gasova oko objekta IRS 16, ukazuju na njegovu ogromnu gravitacionu silu koja je u stanju da zadrži tu materiju. Po nekim procjenama takvo što mogla bi da čini masa od 1 milion sunaca. To može za jedne da bude jak dokaz da je u jedru smještena masivna crna jama. Drugi, pak, smatraju, da se sve pojave i usputni efekti koje možemo posmatrati, ne mogu, isključivo, objašnjavati crnom jamom.

Mliječni put rotira oko ose koja prolazi kroz njegove središnje zone. Rotacija naše galaksije može se opaziti po kretanju dalekih zvijezda. Na ovom problemu mnogo je radio Oort u Holandiji. Za Sunce je, prema savremenim mjeranjima, utvrđena orbitalna brzina od oko 230 km/s, što odgovara periodu obilaska oko središta za oko 190 miliona godina. Pravac kretanja Sunca u okviru njegovog kretanja je ka jednoj tački u Cefeju.

## 4. VANGALAKTIČKA ASTRONOMIJA

### 4.1 UVOD

Već prva posmatranja pomoću teleskopa pokazala su da na nebu ima veći broj objekata što liče na maglovite mrlje raznih oblika i prečnika. Veći instrumenti otkrivali su još više ovakvih pojava, pa je to navelo neke astronome da naprave prve popise u kojima bi dali njihove koordinate i opis. To je bilo od posebnog značaja za one koji su se bavili traženjem novih kometa. Zato je 1784. godine Charles Messier napravio svoj poznati katalog magličastih objekata. Ovaj katalog je sadržao samo 108 objekata, koliko je svojim malim teleskopom bio u stanju da zapazi ovaj francuski astronom. Objekti koje sadrži obično se označavaju sa velikim slovom M uz koje se daje redni broj. Np. oznaka M 31 je naziv za poznatu Veliku maglinu u Andromedi.

Danas ovaj katalog ima samo istorijsku vrijednost i od njega se zadržalo samo označavanje niza sjajnijih objekata. Naravno, o prirodi tih maglovitih mrlja se u to doba nije mnogo znalo. Kasnija posmatranja kvalitetnijim teleskopima dovela su do saznanja da dio objekata predstavlja, u stvari, rasiijane i kuglaste skupove zvijezda u našoj galaksiji. Drugi dio su bile magline takođe smještene u Mliječnom putu kao što su difuzne i planetarne. Treća grupa objekata iz Messier-ovog kataloga ostala je magličasta i u većim teleskopima, a spektralna posmatranja su govorila da se ne radi o gasovitim maglinama kakve se sreću u našoj galaksiji. Takođe je od posebnog značaja bila neobična spiralna struktura mnogih ovakvih maglina.

Svakako, sa razvojem astronomske tehnike, broj otkrivenih maglina, rastao je bilo da su galaktičke ili one druge, za koje će se kasnije pokazati da su vangalaktičke. Zbog toga se javila potreba za novim preciznijim i opsežnijim katalogom. 1888. godine J. Dreyer izdaje New General Catalogue (NGC) ili Novi generalni katalog maglina. On je sadržao 7840 objekata sa koordinatama i opisom svakog od strane nekoliko posmatrača. 1895. i 1910. godine izdate su dopune kataloga u obliku tzv. Index Catalogue (IC). Sve u svemu, NGC i dva IC kataloga sadržali su 13 226 objekata.

Već pomenuta maglina M 31 u ovom katalogu ima oznaku NGC 224. Obzirom na priličan broj nepreciznosti i netačnih podataka ovaj katalog kasnije je bio nekoliko puta prepravljan tako da se i danas koristi, ali od originala su ostale oznake i izvjestan manji broj podataka.

Razvoj astronomije tridesetih godina povukao je za sobom potrebu za novim katalogima. Tako su Shapley i Ames 1932. godine sastavili listu od 1249 sjajnih galaksija. Od novijih ostvarenja koja uključuju samo galaksije, značajni su Zwicky-jev Catalogue of Galaxies and Cluster of Galaxies, te Morphological Catalogue of Galaxies od Voroncov-Veljaminova i Arhipove. Najnoviji prepravljeni NGC katalog izdali su J. Sulentic i W. Tifft sa Univerziteta u Arizoni (USA).

Već smo pomenuli da je priroda jednog dijela maglovitih mrlja, koje je zapazio još Messier, ostala duže vrijeme nepoznata. Osnovno pitanje je bilo da li su ti objekti galaktički ili vangalaktički. Ritchey i Curtis su 1917. godine opazili veći broj sjajnih tačaka u Andromedinoj maglini (NGC 224) i pravilno pretpostavili da su to eksplozije novih zvijezda. U našoj galaksiji, obično, nove u vrijeme maksimuma imaju apsolutni sjaj od oko  $-7^m$ . Pretpostavivši to isto za nove u Andromedi, oni su došli do zaključka da bi ta maglina morala biti van granica našeg zvjezdanog sistema.

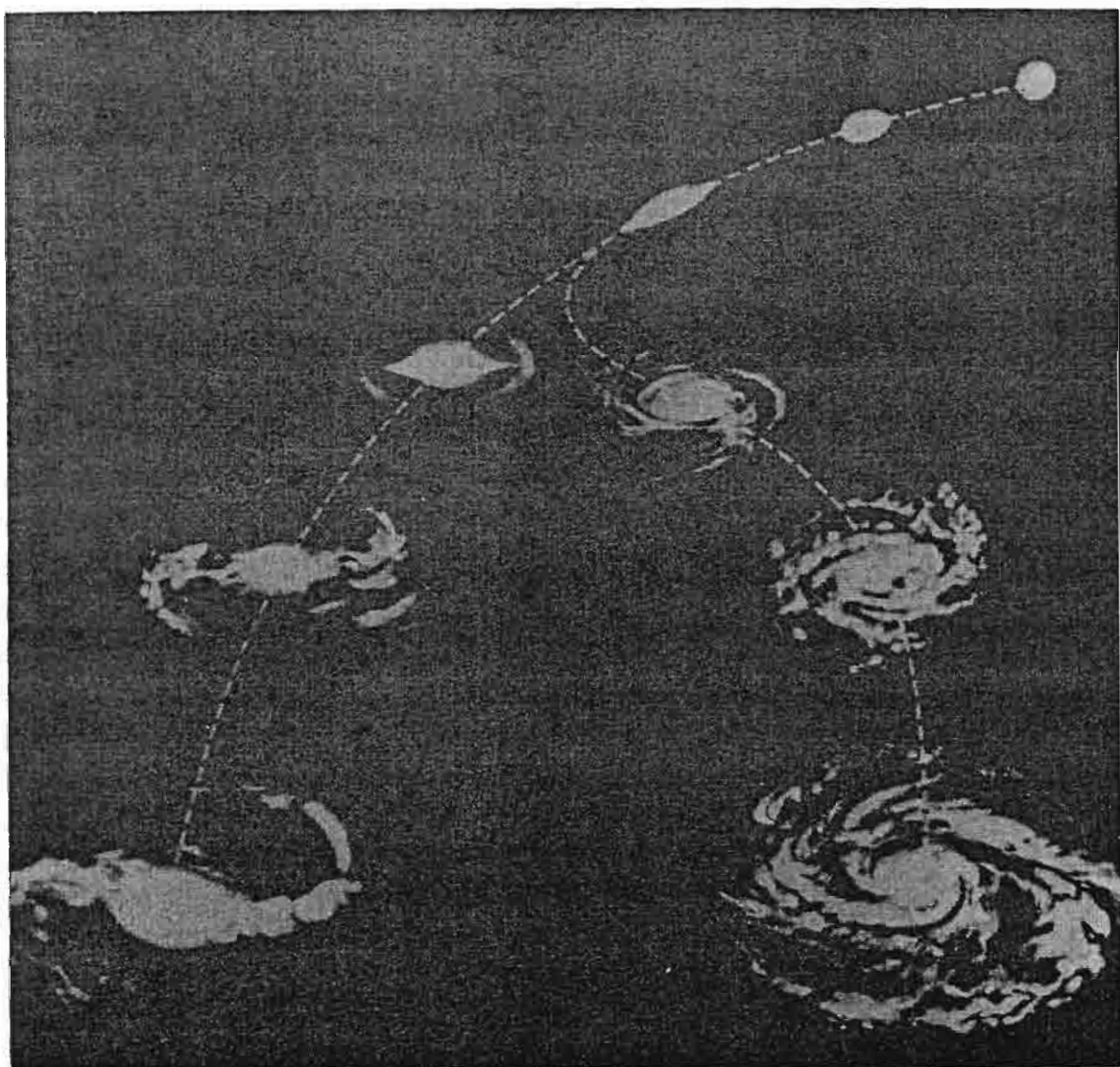
Ovo otkriće, međutim, nije bilo dovoljno, već su sigurniji dokazi dati pomoću teleskopa prečnika 2.5 metra na opservatoriji Mt. Wilson. Edwin Hubble je primijenio vrlo duge ekspozicije snimajući spiralne krake Andromedine magline. Pri ovakvim snimanjima poseban problem je što se pri promjeni temperature u toku noći kod velikih teleskopa mijenja fokus u granicama od nekoliko milimetara. Zato se, uporedo sa kontrolom rada teleskopskih motora, morala kontrolisati i oštrina snimka. Pokazalo se da se spiralni kraci sastoje od milijardi zvijezda vrlo slabog sjaja, što je normalno, obzirom na ogromnu udaljenost sa koje nam stiže njihova svjetlost. Ova snimanja su obavljena u periodu između 1924. i 1926. godine. Na snimcima je otkriven veći broj promjenljivih zvijezda i među njima Cefeida (vidi poglavlje 2). Ovo je dovelo do lakog mjerenja udaljenosti i time je dokazana vangalaktička priroda najprije spiralnih, a zatim i mnogih drugih maglina.

Istim teleskopom, primjenjujući poboljšanu tehniku i kvalitetnije fotomaterijale, Baade 1944. god. uspijeva da razbije ne pojedinačne zvijezde i centralne oblasti ove magline, a zatim i još nekolicu drugih. Stupanjem u pogon 5-metarskog teleskopa opservatorije Mt. Palomar (1948) ovakvo razlaganje, bliskih maglina na zvijezde, još se više proširilo. Zato i naziv magline više nije bio podesan za upotrebu, pa je pravilnije govoriti galaksije.

## 4.2 TIPOVI GALAKSIJA

Najranija posmatranja dovela su do zaključka da se galaksije pojavljuju u različitim oblicima. To je vodilo potrebi stvaranja izvjesne klasifikacije

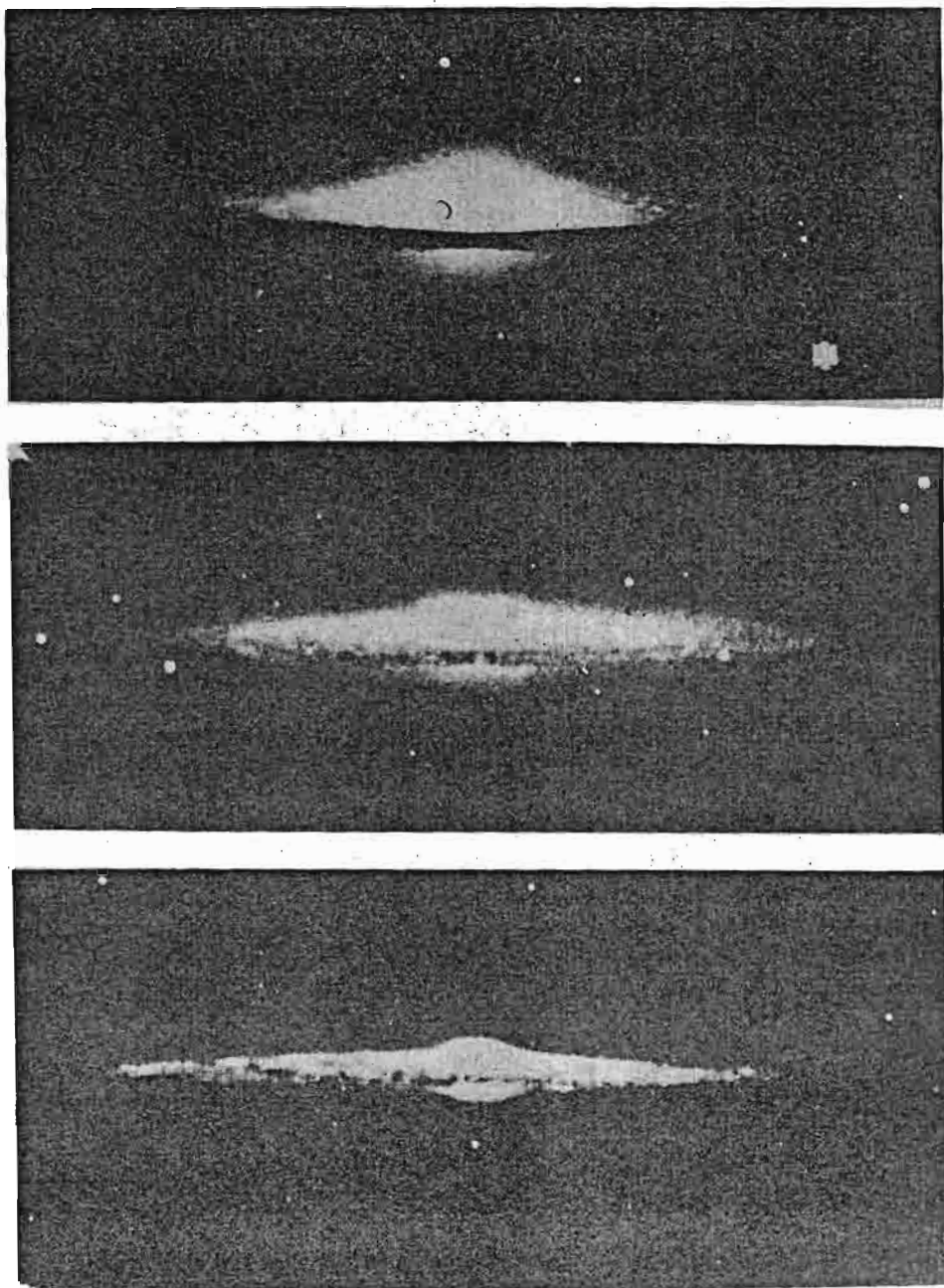
ovih objekata. Najpoznatija i jedra od prvih pripada Hubble-u. Uopšte, za sve ranije klasifikacije bitno je da su to većinom morfološke, odnosno da su uglavnom polazile od oblika. U savremenim klasifikacijama uvode se i određene fizičke karakteristike ovih savremenih ostrva. Hubble-ove klasifikacija daje osnovne tipove galaksija, a ranije je pogrešno smatrana i evolucionom. Na slici 4.1. je dat niz galaksija. Gornji niz su eliptične galaksije koje se granaju na dvije osnovne grupe spiralnih galaksija.



Sl.4.1. Klasifikacija galaksija. Gornji niz su eliptične galaksije, koje se granaju na dvije glavne grupe spiralnih.

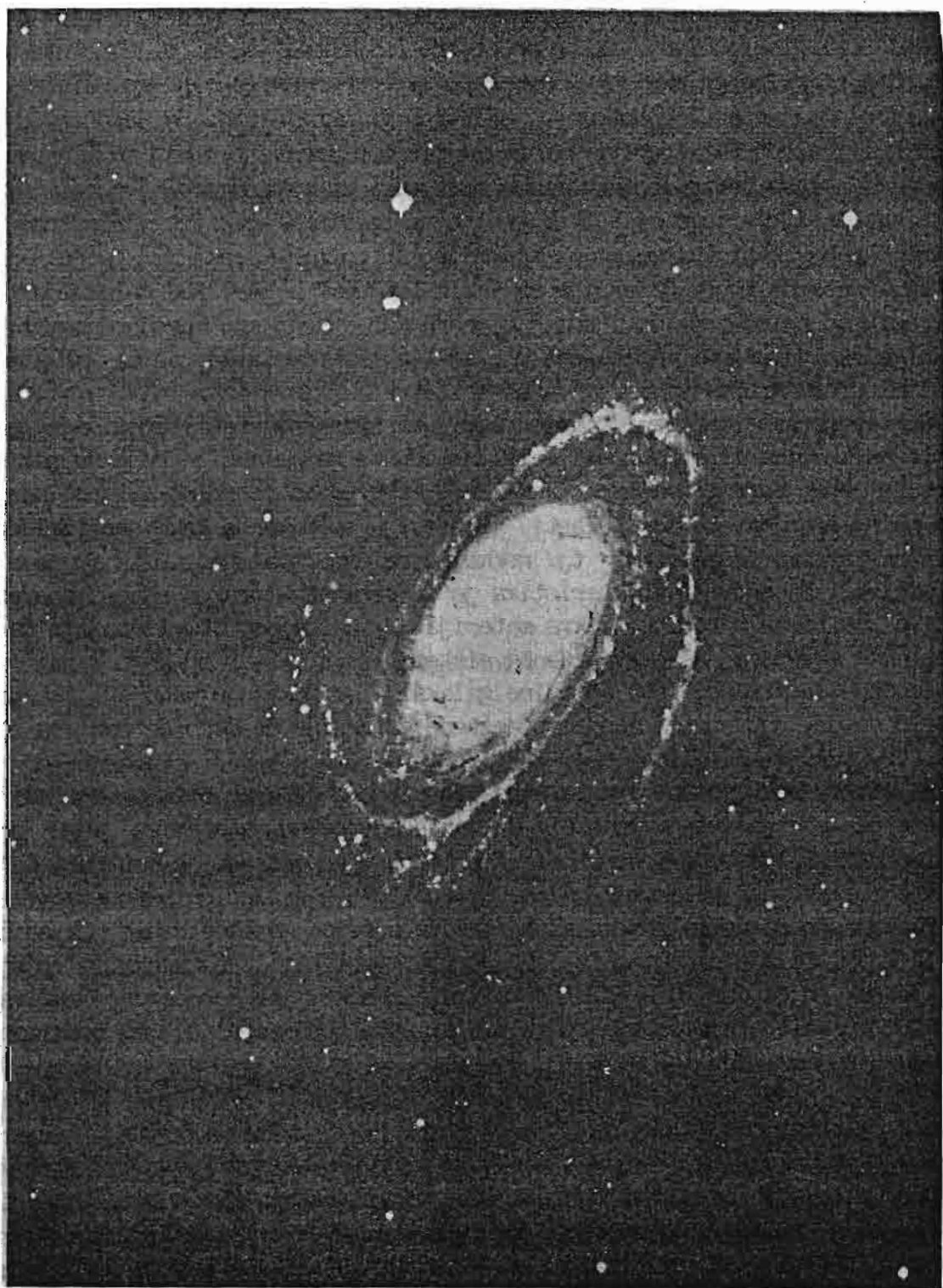
#### 4.2.1 Spiralne galaksije

Većina katalogiziranih galaksija spada u spiralne. Po vanjskom obliku to su nesumnjivo najživopisniji objekti u svemiru čiji izgled u velikoj mjeri odaje utisak kretanja. Obično se pojavljuju u vidu sjajnog jedra iz koga izviru spiralni kraci. Oblik im često zavisi od položaja koji zauzimaju u



Sl.4.2. Tri tipa spiralnih galaksija. Odozgo prema dole: NGC 4594 u Sextantu-tip Sa, NGC 5746 u sazviježdu Virgo-tip Sb, NGC 4565 u sazviježdu Coma Berenices-tip Sc. (Fotografija Mt. Wilson opservatorije).





Sl.4.3. Spiralna maglina M 81 u sazviježđu Ursa Major - tip Sb.  
(Fotografija Mt. Wilson opservatorije).



odnosu na posmatrača ( u ovom slučaju na Zemlju, odnosno, pravilnije čitav Mliječni put). Isključivši faktor prostorne orijentacije, bilo je moguće klasificirati spiralne galaksije uglavnom po stepenu razvijenosti spiralnih krakova i prečnika jedra. Po Hubble-u, spiralne galaksije tipa Sa su one kod kojih su kraci slabo razvijeni, a u nekim slučajevima se tek naziru. Za ovakve sisteme je karakteristično da razmjeri jedra zauzimaju oko 50% dimenzija čitave galaksije. Obično su kod većine spiralnih galaksija prisutna dva osnovna kraka koji izlaze iz dijametralno suprotnih tačaka na jedru. Ima, međutim, dosta primjera galaksija sa većim brojem krakova. Kod galaksija tipa Sb kraci su primjetno razvijeni, a jedra manja nego kod prethodnog tipa. Bliska galaksija u Andromedi spada u ovaj tip. Pretpostavlja se da i Mliječni put ulazi u ovu grupu.

Sc tip karakterišu vrlo bogato razvijeni spiralni kraci. Središnje jedro je vrlo malih dimenzija. Svi ovi opisi se odnose na galaksije koje su nam otkrivena na jedan određeni način - konkretno mi gledamo normalno ili pod manjim uglom na njihove ekvatorske oblasti. Postavlja se pitanje kako one izgledaju ako ih posmatramo sa strane, tj. normalno na osu rotacije. Oblik im je sličan sočivu, a osnovna karakteristika je da se u ekvatorskoj ravni obavezno nalazi pojas tamne materije. Takva materija je, uostalom, otkrivena i u ravni galaktičkog ekvatora našeg zvjezdanog sistema.

Gledane sa strane, sve spiralne galaksije se pokazuju jako spljoštenim. Pokazalo se da, općenito, manje spljoštene galaksije ne mogu da razviju spiralnu strukturu (npr. eliptične).

Sa stanovišta evolucije galaksija ovo pitanje je vrlo bitno. Tako su neka teorijska istraživanja pokazala da manje spljoštene sistemi ne mogu prelaziti u više spljoštene i obratno. Naprosto, vjerovatnije je smatrati da su spiralne i eliptične galaksije rodene iz različitih evolucionih puteva.

Posebna grupa spiralnih galaksija izdvaja se od gore opisanih. Za obične spirale kraci izlaze direktno iz jedra kružnog oblika. Ove galaksije posjeduju jedro smješteno u sredini neke vrste prečke, pa se obično nazivaju prečkaste spirale, premoštene spirale i slično. One se dijele na podklase i označavaju sa SBa, SBb i SBc.

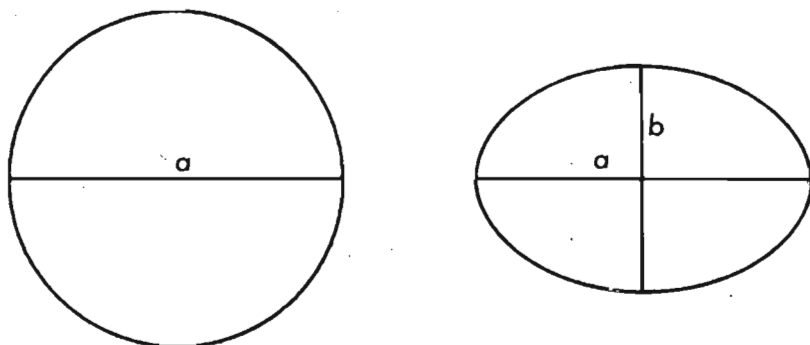
#### 4.2.2 Eliptične galaksije

Ove galaksije se pojavljuju u obliku elipsi raznih ekscentriciteta ili krugova. Sjaj im opada od središta ka rubovima. Ovakve galaksije uglavnom su građene od crvenih ili žutih zvijezda, kako giganata tako i patuljaka. Plavi i bijeli supergiganti, tako karakteristični za spiralne galaksije, ovdje nisu uopšte prisutni. Takode nisu opaženi nikakvi tragovi difuzne materije.

Po vanjskom obliku, eliptične galaksije se razlikuju samo po veličini spljoštenosti, pa je to iskorišteno za njihovu klasifikaciju. Hubble je predložio da se za stepen spljoštenosti (sl.4.4) iskoristi veličina:

$$10 \frac{a-b}{b}$$

gdje je "a" velika poluosa elipse, a "b" mala poluosa. U slučaju kada je galaksija kružna onda su "a" i "b" jednaki, pa je spljoštenost ravna nuli. U vezi sa ovim, eliptične galaksije označavaju se slovom E uz koje dolazi broj koji karakteriše stepen spljoštenosti. Tako se može napisati da je neka galaksija tipa E5.

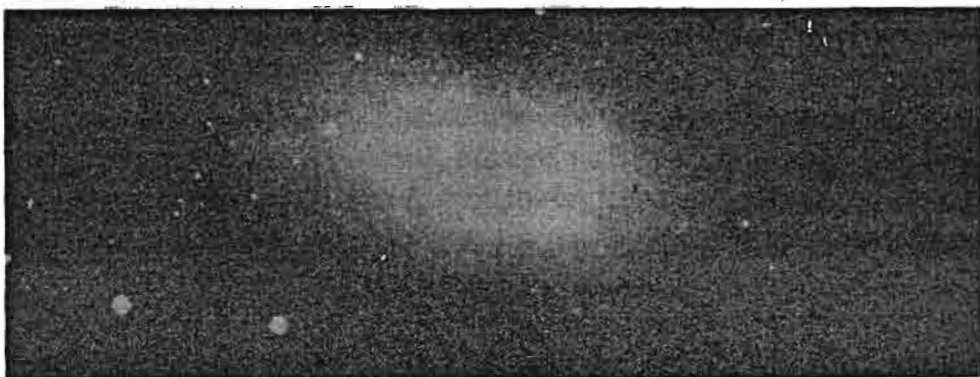


Sl.4.4. Određivanje stepena spljoštenosti galaksija

Pokazalo se da spljoštenost eliptičnih galaksija ne može da bude veća od recimo E7. Tako ne postoje galaksije ovog tipa sa pokazateljima spljoštenosti 8.9 ili 10. Svakako da se odmah postavilo pitanje kakvi su prostorni oblici eliptičnih galaksija. Obzirom da se na nebu može posmatrati ogroman broj eliptičnih galaksija, a sve nam se pokazuju kao elipse raznog ekscentriciteta, to je zaključeno da su one, prostorno gledano, elipsoidi. Elipsoid je jedino tijelo čiji je na koji presjek elipsa. U specijalnim slučajevima ovaj elipsoid prelazi u sferu.

U zavisnosti kako nam je elipsoid neke galaksije okrenut biće stepen spljoštenosti dotične eliptične galaksije. Najveća spljoštenost pripada ekvatorijalnim oblastima galaksije, pa zato, ako je posmatramo normalno na osu vrtnje, to ćemo mjeriti najveći stepen spljoštenosti. To bi bila i istinska spljoštenost, za razliku od posmatranja pod drugim uglovima, kada vidimo neke od projekcija i kada spljoštenost postaje prividno manja. Kada se posmatranja vrše paralelno sa osom rotacije eliptične galaksije, tada će nam ona izgledati kružnog oblika.

Na osnovu neprijed 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,



Sl.4.5. NGC 205 - Patuljasti pratilac Velike magline u Andromedi.

recimo, u okviru skupova galaksija preovladavaju eliptične galaksije sa koeficijentom spljoštenosti većim od 4 (do 7). Nasuprot tome, među eliptičnim galaksijama, smještenim van skupova dominiraju one čiji su pokazatelji spljoštenosti mali.

#### 4.2.3 Nepravilne galaksije

Do sada opisane galaksije isticale su se simetričnošću forme. Postoje, međutim, galaksije čiji su oblici nepravilni i potpuno odstupaju od ma kakve zakonomjernosti u strukturi. Od Hubble-a potiče njihovo označavanje slovom I od engl. Irregular (nepravilan). Problem zašto postoje nepravilne galaksije proučavan je teorijski. Vjerovatna je pretpostavka da sve galaksije počinju svoj život u haotičnom, nepravilnom stanju, a da pravilnost oblika i simetriju poprimaju tek kasnije usljed rotacije i uticaja gravitacionog polja. Pokazalo se da vrijeme potrebno da se poprimi pravilna forma zavisi od srednje gustine materije u sistemu. Ukoliko je ta srednja gustina manja od neke kritične vrijednosti, tada se pravilna forma ne može ostvariti. Takođe bi bila pravilna pretpostavka da su neke nepravilne galaksije mlade, pa naprosto nisu imale vremena da obrazuju simetrične forme. Ne bi trebalo isključiti ni mogućnost da do nepravilnosti dođe usljed spoljnog uticaja, kao što je prolaz neke galaksije pored druge.

Nepravilne galaksije dijele se na dvije podklase. Podklasa II je karakteristična po srazmjerno velikom površinskom sjaju. Takođe se kod njih zapaža složenost nepravilne strukture. Kod nekih galaksija ovog tipa opaženi su izvjesni, istina teško primjetni, tragovi narušene spiralne strukture. Obično je moguće sresti ovakve galaksije u parovima, pa prema Vaucouleur-u one su nekada bile spiralne, a ta spiralnost je narušena međusobnim gravitacionim uticajima.

Nepravilne galaksije drugog podtipa označavaju se sa I II. Osnovno je da im je površinski sjaj vrlo slab, pa je moguće posmatrati samo bliske

galaksije ove vrste. Nizak površinski sjaj ne znači ništa drugo do da su ove galaksije veoma siromašne zvijezdama.

#### 4.3 OSNOVNE FIZIČKE KARAKTERISTIKE GALAKSIJA

Sve galaksije u malim teleskopima vide se u obliku slabih mrlja svjetlosti. Na sjevernom nebu samo je maglinu u Andromedi moguće vidjeti golim okom. Prividna veličina joj iznosi nešto preko četiri. Ostale galaksije znatno su slabijeg sjaja. Što se tiče apsolutnog sjaja ovih zvjezdanih sistema, on je različit i zavisi, uglavnom, od dimenzije galaksije i gustine zvijezda koje je grade. Supergigantskim galaksijama smatraju se one čiji apsolutni sjaj prelazi  $-19.0$ . Magline NGC 4874 i NGC 4889 koje se nalaze u skupu Berenikina kosa, imaju apsolutni sjaj od po  $-22.0$ .

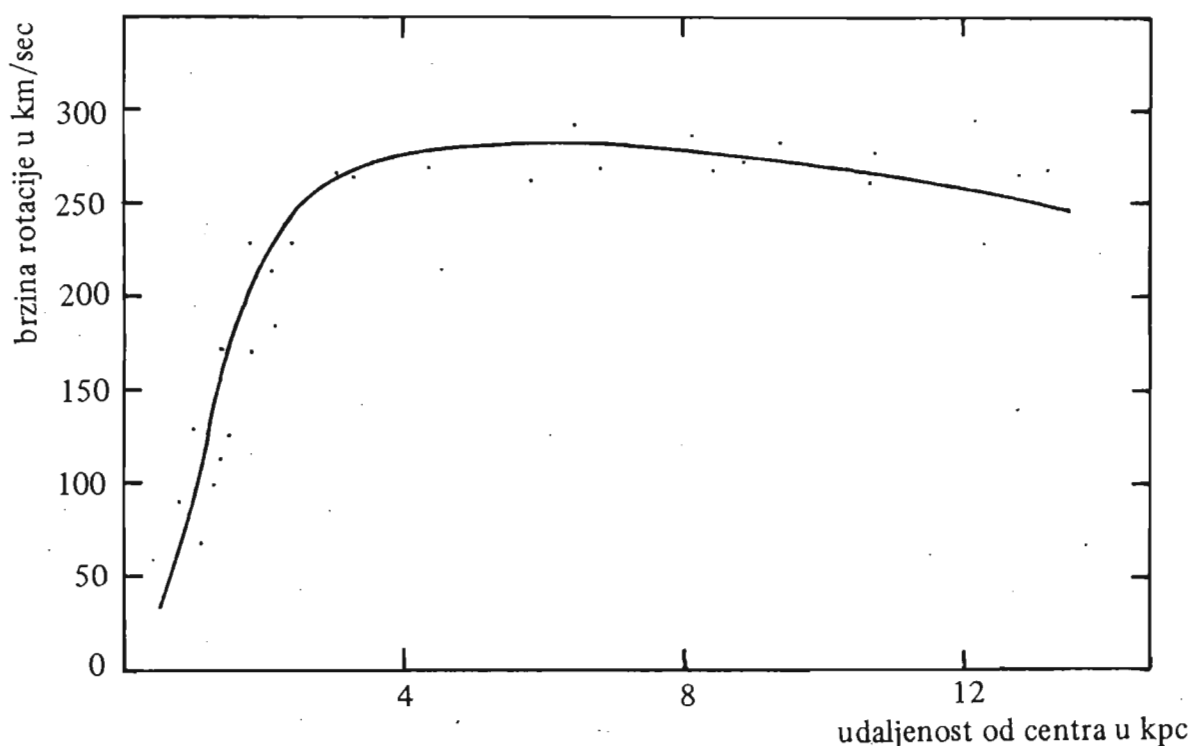
Kod opisa strukture naše galaksije vidjeli smo da pojedini tipovi zvijezda i difuzne magline (vidi 3.3) obrazuju karakteristične podsisteme. Pošto je naša galaksija spiralna, moglo se očekivati da i drugi zvjezdani sistemi ove vrste pokazuju slične osobine. Tako su vrući giganti, supergiganti, dugoperiodične cefeide, nove, i super nove, rasijani skupovi i vodikovi oblaci, opaženi u blizini glavnih ravni spiralnih galaksija. Poznato je da ovi objekti grade zvjezdano naselje I tipa. Ono se sreće u nepravilnim galaksijama.

Zvjezdano naselje II tipa sastoji se od crvenih patuljaka i giganta, kratkoperiodičnih cefeida, kuglastih skupova. Ono je koncentrisano u jedrima spiralnih galaksija. Od ovog tipa zvjezdanog naselja građene su eliptične galaksije kao i nepravilne galaksije podtipa I i II. Ova razlika u zvjezdanom sastavu naročito se dobro uočava kada se galaksije snimaju na kolor film. Tako su pomoću vakuumske kamera, sa smrznutim ugljendioksidom (suhi led) dobijeni izvanredni kolor snimci mnogobrojnih objekata na nebu. Spiralne galaksije jasno su se isticala svojim plavim kracima i žućkasto-crvenim jedrima. Do ovih boja je dolazilo upravo zbog postojanja pomenutih podsistema.

Spektar svake pojedine galaksije sastavljen je iz ogromnog broja pojedinačnih zvjezdanih spektara koji se slijevaju jedan u drugi. U zavisnosti od tipova zvijezda, koje grade neku galaksiju, i njen spektar biće različit. Ako je spektar neke galaksije sličan u opštim crtama spektru neke zvijezde ranijeg spektralnog tipa, onda je očigledno da u njoj preovladavaju upravo zvijezde ranijih spektralnih tipova kao što su O, B i A. Pokazalo se da se spektri spiralnih galaksija mogu uspješno porediti sa spektrima zvijezda ranijih spektralnih tipova. Kod eliptičnih galaksija imamo suprotnu pojavu.

### 4.3.1 Rotacija galaksija

Teorijska razmatranja dovela su do zaključka da bi svaki zvjezdani sistem koji ne rotira morao prije ili kasnije da poprimi oblik sfere. Spljošten izgled većine galaksija ukazuje na to da se one vrte. Tako, sve spiralne i eliptične trebalo bi da imaju neku vrstu rotacije oko ose koja je normalna na glavnu ravan simetrije ovih sistema. Osnovni problem je u tome kako dokazati da rotacija zaista postoji. Kod onih galaksija koje su nam okrenute tako da se osa njihove rotacije poklapa sa pravcem u kome ih posmatramo, nemoguće je



Sl.4.6. Tipična kriva rotacije neke galaksije. Sa nje je vidljivo kako su rasporedene brzine pojedinih dijelova sistema u zavisnosti od udaljenosti u odnosu na centar.

ustanoviti na kakvo kretanje. To je i normalno s obzirom na ogromne udaljenosti, pa bi trebalo čekati milione godina da se opazi bilo kakvo kretanje. Međutim, kod galaksija koje posmatramo sa strane, tj. normalno na osu njihove rotacije ili pod nekim uglom u odnosu na nju, moguće je koristiti Doplerov efekat. Zbog rotacije jedan rub galaksije približavao bi nam se, a drugi bi se udaljavao od nas.

Američki astronom Slajfer je početkom ovog vijeka opazio rotaciju galaksija. On je pukotinu spektrografa postavljao duž velike ose vidljive elipse reke galaksije. Snimci su pokazali da su spektralne linije nagnute pod nekim uglom, što se ne može objasniti nikako drugačije već Doplerovim efektom, izazvanim rotacijom galaksije.

Pošto galaksije imaju veoma mali sjaj, teško je dobiti njihove spektre i tako se spektralne linije mogu dobiti samo od jedra koja su znatno većeg sjaja. Veoma je značajna činjenica da su spektralne linije, iako nagnute ostale prave, tj. nisu se deformisale u neku krivu liniju. To pokazuje da su ugaone brzine, pojedinih dijelova galaksije, proporcionalne sa rastojanjem od centra sistema. Periodi rotacije pojedinih galaksija se kreću od 3 do 400 miliona godina. Ovi se podaci odnose na rotacije jedra.

Brzine kojima rotiraju udaljenije oblasti galaksije koje ne ulaze u sastav jedra određene su pomoću vrućih giganata i supergiganata. Ove zvijezde, zajedno sa vodikovim oblacima, imaju osobinu da grade sjajna zgušnjenja čiji se spektri mogu snimiti. Ovakva zgušnjenja karakteristična su za sve spiralne galaksije. Jedan od problema koji se javio u vezi rotacije galaksija bio je problem pitanja smjera rotacije spiralnih galaksija. Tu postoje dvije mogućnosti. Po jednoj, one rotiraju tako da im se spiralni kraci odmotavaju, a po drugoj im se namotavaju. Posljednja posmatranja potvrđuju mišljenje da spiralne galaksije pri rotaciji namotavaju svoje krake.

#### 4.3.2 Mase galaksija

Zahvaljujući otkriću rotacije galaksija, moglo se prići rješavanju problema njihovih masa. Naime, u svakoj tački neke galaksije centrifugalna sila izazvana rotacijom mora se uravnotežavati sa centripetalnom silom koja zavisi od rasporeda mase u galaksiji. Na osnovu istraživanja grafikona koji pokazuje raspored ugaonih brzina pojedinih tačaka u galaksiji, moguće je davati grube ocjene mase ispitivane galaksije. Eliptične galaksije se, nažalost, vrte veoma sporo i za njih se nije mogao naći grafikon raspodjele ugaonih brzina kao što je to učinjeno sa spiralnim sistemima. Zato su se morale tražiti neke druge mogućnosti.

Drugi metod ocjene masa galaksija zasniva se na tome da u sistemima koji se vrte veoma sporo, ili se uopšte ne vrte, zvijezde mogu da se sa jednakom vjerovatnošću 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 mogućim pravcima. Zbog toga će spektri galaksije imati raširene linije jer su nastali slaganjem spektra većeg broja zvijezda koje imaju različite ugaone brzine. Mjereći veličinu raširenosti spektralnih linija, možemo procjenjivati mase sporo vrtećih i stacioniranih sistema.

Najmasivnija poznata galaksija je eliptični sistem tipa E0 koja nosi oznaku NGC 4486. Smatra se da ona ima hiljadu milijardi sunčevih masa.

4.4 MJESNI SISTEM

Zajedno sa 16 drugih galaksija, Mliječni put gradi grupu koja se naziva Mjesni sistem. Van granica ovog sistema gustina galaksija je znatno manja, tako da ima razloga za tvrdnju da ovo grupisanje nije slučajno i da postoje određene fizičke veze i međudejstva pojedinih članova sistema. Dosada je poznato 17 članova Mjesnog sistema, a nije isključeno da ih ima još. U ovom sistemu pojavljuju se spiralne galaksije, nepravilne tipova I I i I II, kao i patuljaste eliptične galaksije. Tabela 4.1 nam daje jasan pregled skupa Mjesnog sistema galaksija.

TABELA 4.1

SPISAK ČLANOVA MJESNOG SISTEMA GALAKSIJA

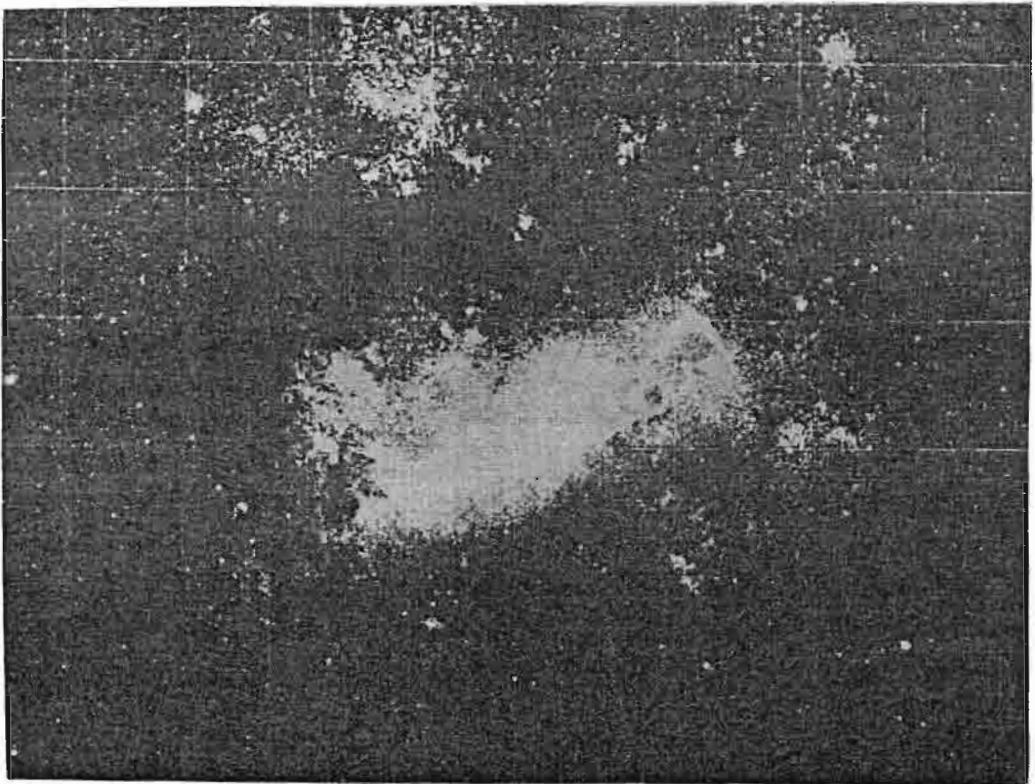
Redni broj	Naziv ili oznaka	Tip	Vidljiva zvjezd. veličina	Rastojanje (u kps)
1.	Naša Galaksija	Sb ili Sc		
2.	Veliki Magelanov oblak	II	1.2	46
3.	Mali Magelanov oblak	II	2.8	46
4.	Sistem u Skulptoru	I II	8.8	90
5.	Sistem u Fornaksu	I II	9.1	290
6.	NGC 6822	II	9.1	330
7.	NGC 147	E3	10.5	400
8.	NGC 185	E1	10.2	400
9.	NGC 224 (Andromedina magl.)	Sb	4.3	460
10.	NGC 205	E5	8.9	460
11.	NGC 221	E2	9.1	460
12.	IC 1613	II	10.0	460
13.	NGC 598	Sc	6.0	480
14.	Sistem Lav I	I II	12.0	220
15.	Sistem Lav II	I II	12.0	220
16.	Sistem u Zmaju	I II	10.0	100
17.	Sistem u Malom Medvjedu	I II	10.0	67



## 4.4.1 Magelanovi oblaci

Kad bi se na neki način moglo udaljiti iz naše galaksije i otići, recimo, do one u Andromedi, tada bi nam se Mliječni put pokazao u svojoj svojoj ljepoti. No, još bi nešto zapazili. Dvije male galaksije, vezane gravitacionim silama, pratioci su našeg zvjezdanog sistema. To su Magelanovi oblaci koji se gclim okom jasno vide sa južnih geografskih širina. Činjenica, da su to nama najbliže galaksije udaljene svega 160 000 svjetlosnih godina, od posebnog je značaja.

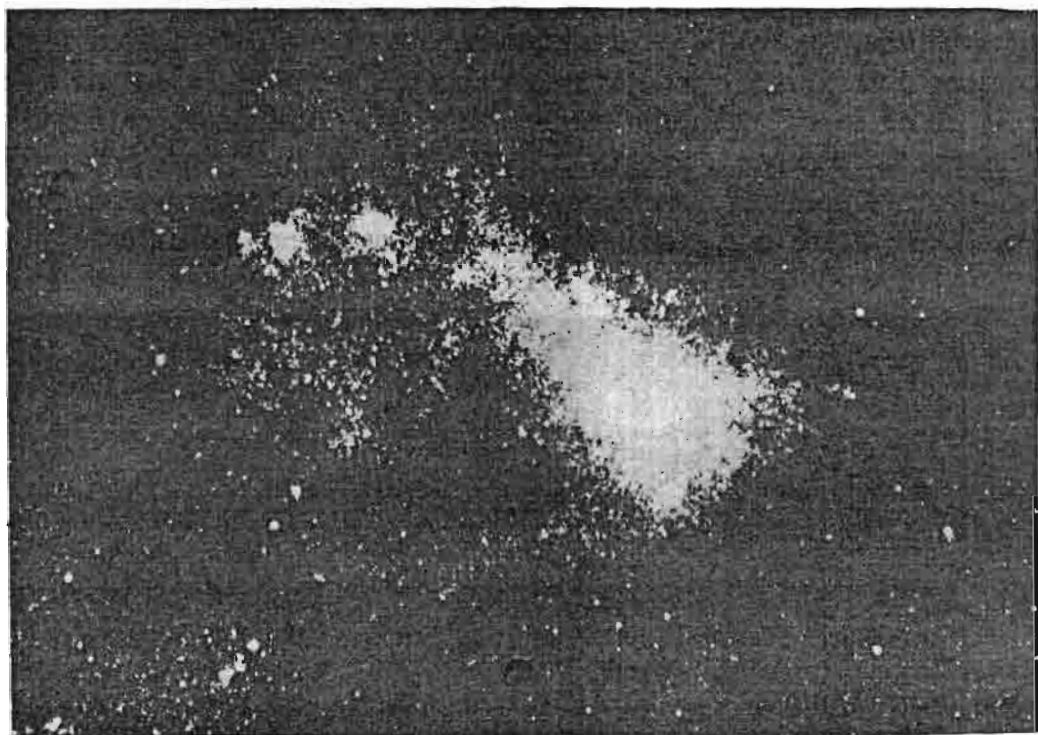
Ime su dobili od strane Megelanovog saputnika i istoričara Pigafetta koji ga je slijedio na prvoj plovidbi oko Zemlje. Jedan je nazvan Veliki Magelanov oblak a drugi Mali Magelanov oblak. Oba posjeduju veliki broj raznovrsnih objekata, a, obzirom na blizinu, njih je lako izučavati i manjim teleskopom. Uopšte, poznato je da južno nebo dugi niz decenija pa i stoljeća nije podrobno istraživano, jer je većina opservatorija smještena na sjevernoj polulopti. Danas se ta situacija rapidno mijenja. Mogućnost proširenja astronomske saznanja, posebno u vangalaktičkoj astronomiji, navodi mnoge opservatorije da postave velike teleskope na južnim širinama. Istovremeno, najbolja mjesta u astroklimatskom pogledu, smještena su na južnoj polulopti.



Sl.4.7. Veliki Magelanov oblak. (Fotografija Cape opservatorije)

Prva istraživanja Magelanovih oblaka otpočela su na opservatoriji Harvard u SAD, koja je postavila stanicu u Peru-u opremljenu 60 cm-skim teleskopom. Veoma značajne radove na proučavanju Magelanovih oblaka dala je Miss. Leavit izučavajući promjenljive zvijezde u ovim bliskim galaksijama. Njoj pripada otkriće poznate zakonitosti "period-apsolutni sjaj" za cefeide (vidi 2.13.2).

Što se zvijezda tiče, u Velikom oblaku preovladavaju one iz zvjezdanog naselja I tipa. Opažen je veliki broj plavih super giganata izuzetno velikog sjaja, a mnogi su sjajni od 10 000 Sunaca. Tako u sastav Velikog Magelanovog oblaka ulazi do sada najsjajnija poznata zvijezda. To je HD 33579 ili S Doradus, a sjajnija je od Sunca oko milion puta. Ima apsolutni sjaj  $-10^m$ .



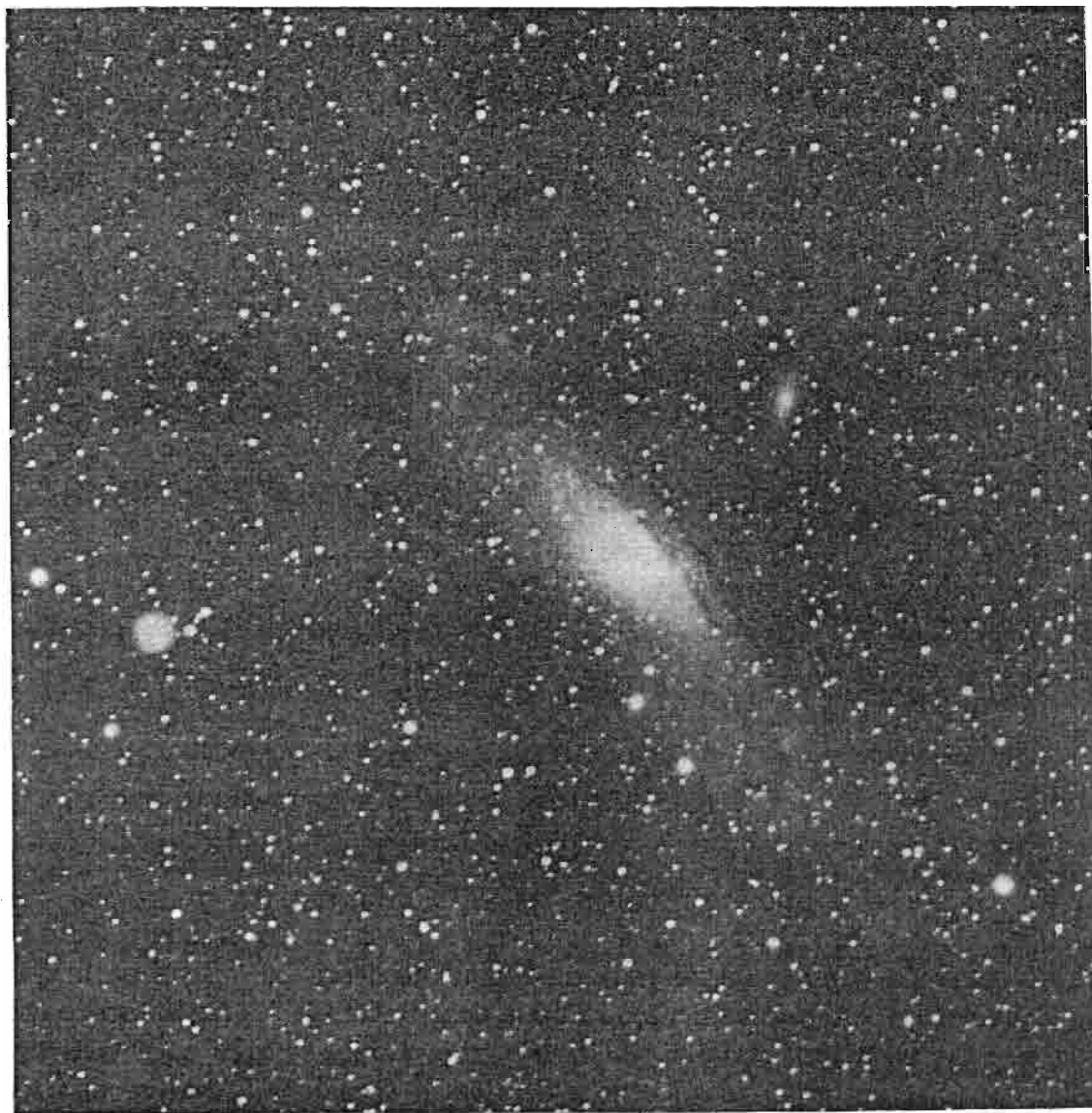
Sl.4.8. Mali Magelanov oblak. (Fotografija Arequipo stanice Harvardske opservatorije).

U oblacima, posebno Velikom, ima mnogo gasovitih maglina. Jedna od najpoznatijih je 30 Doradus koja je, ujedno, i najveća poznata difuzna maglina. Prečnici najvećih takvih maglina u Mliječnom putu ne prelaze 20 svjetlosnih godina, a 30 Doradus ima prečnik od preko 600 sv. godina. Kada bi se nalazila na mjestu poznate magline u Crionu, ona bi zapremila čitavo ovo veliko sazviježđe, a sjaj bi joj bio dovoljan da izazove pojavu sjene na Zemlji.

U oblacima je otkriven veći broj kuglastih i rasijanih skupova zvijezda. Uopšte, izučavanje Magelanovih oblaka odigralo je ogromnu ulogu u astronomiji i, ujedno, pokazalo opšte jedinstvo materijalnog svijeta.

#### 4.4.2 Velika maglina u Andromedi (M 31 ili NGC 224)

Ovo je nesumnjivo najpoznatija galaksija a zbog blizine i sjaja moguće ju je nazrijeti golim okom. Spada u supergigantske spiralne galaksije tipa Sb i udaljena je od Mliječnog puta oko 2 miliona svjetlosnih godina. U odnosu na naš pravac gledanja ona je nagnuta pod uglom od  $12^{\circ}$ . Razna mjerenja dala su



Sl.4.9 Velika maglina u Andromedi (M 31 ili NGC 224) i njeni pratioci NGC 205 i M 32. (Fotografija: M.Muminović, Astronomska opservatorija, Sarajevo).

različite podatke za dimenzije ove galaksije, no, srednja vrijednost dužine velike ose elipse iznosila bi oko 200 000 svjetlosnih godina, što dva puta prelazi dimenzije našeg zvjezdanog sistema. No, to ne znači da je u stvarnosti tako. Naime, mjerenje dimenzija neke galaksije otežano je činjenicom da se mi nalazimo unutar nje. Zato je razumno smatrati da je Mliječni put sličnih dimenzija.

Zvjezdani sastav ove galaksije sličan je onom u našem sistemu. U kracima prevladavaju giganti i supergiganti plave boje. Godišnje u njoj eksplodira u prosjeku oko 30 novih zvijezda. Do sada je otkriveno oko 140 kuglastih skupova. Rasijane je teže opažati zbog njihovog slabijeg sjaja i udaljenosti ove konglomeracije zvijezda.

Radio posmatranja svjedoče o velikim masama gasova, posebno vodonika, koji je bogato zastupljen u svim spiralnim galaksijama. Računa se da oko 2% ukupne mase galaksije zauzimaju gasoviti oblaci.

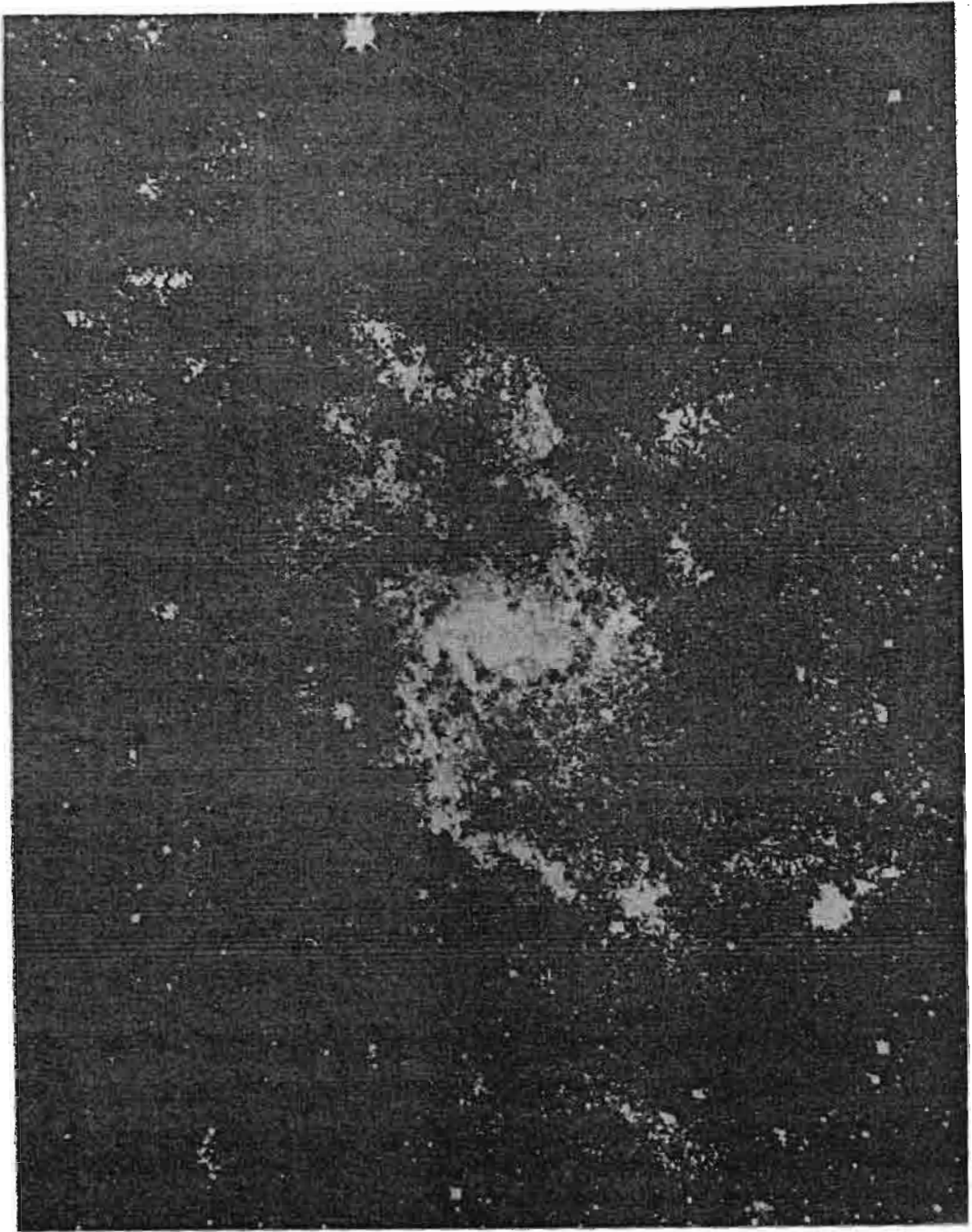
Maglina u Andromedi ima četiri pratioca i svi su eliptične galaksije, za razliku od Magelanovih oblaka koji su nepravilni sistemi. Dva sjajnija i njoj bliža pratioca NGC 205 i M 32 vide se i malim teleskopima.

#### 4.4.3 Maglina u Troglu (M 33 ili NGC 598)

Poslije opisane grupe galaksija, ovo nam je najbliži zvjezdani sistem u ovom dijelu svemira. Spada u tip Sc i zato ga karakterišu razvijeni spiralni kraci i vrlo malo jadro. Vrlo je bogat zvjezdanom populacijom I tipa. Opaženo je dosta zvijezda tipa O i B, zatim rasijanih skupova, cefeida i oblaka jonizovanog vodonika (H II). Na snimcima načinjenim 5 metarskim teleskopom, u spiralnim kracima lako je moguće zapaziti pojedinačne zvijezde kao i zgušnjavanja, što ih grade sjajne zvijezde i gasovite magline. Slika 4.10 prikazuje maglinu u Troglu.

#### 4.4.4 Patuljaste bliske galaksije

1937. godine južna stanica Harvardske opservatorije u Boyden-u (Južna Afrika) objavila je otkriće neobičnog objekta neuporedivog ni sa čim ranije opaženim. Prema sazviježđu u kome je otkriven, nazvan je sistem u Skulptoru. Spoljni opis je govorio da se radi o sistemu građenom od vrlo slabih zvijezda. Posmatranja 2.5 metarskim teleskopom opservatorije Mount Wilson pokazala su da se radi o dalekoj galaksiji. Najsjajnije zvijezde bile su crvene boje i u neku ruku, slične zvijezdama koje grade kuglaste skupove. No, za razliku od kuglastih skupova, gustina ovih zvijezda bila je vrlo mala prema relativno velikim razmjera čitavog sistema.



Sl.4.10. Maglina M 33 ili NGC 598 u Trouglu (Fotografija Lick opservatorije).

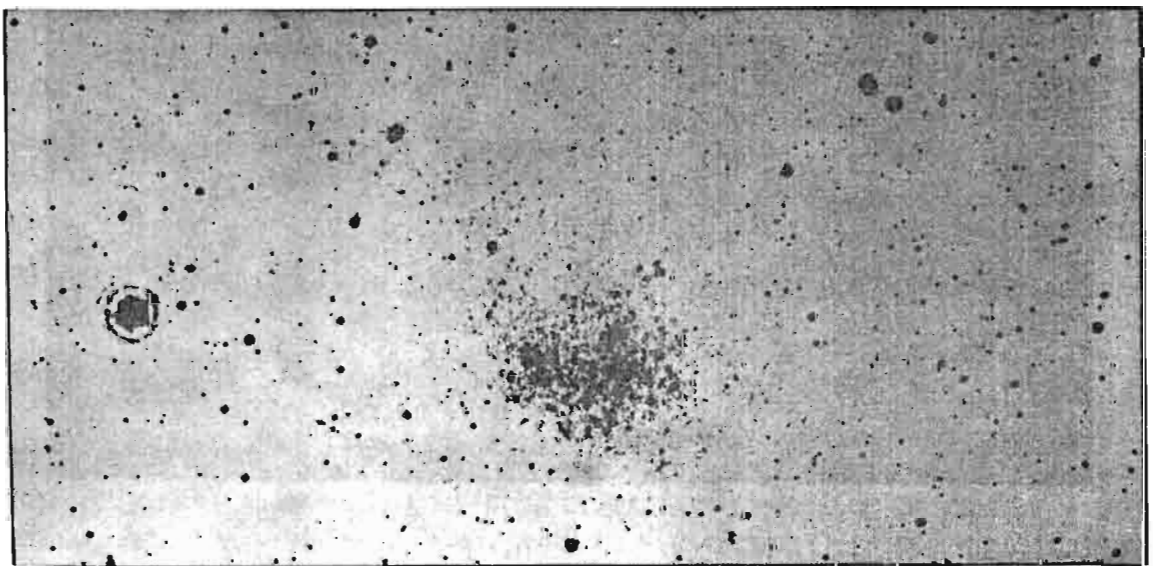
Istraživanja su pokazala da ukupni apsolutni sjaj sistema u Skulptoru iznosi  $-10.9$  što znači, da je čitava ta galaksija slabijeg sjaja od jedne jedine zvijezde iz Magelanovog oblaka (S Doradus). Kasnije je otkriveno još nekoliko ovakvih patuljastih galaksija, kao što su Sistem u Fornaksu, Sistem u Lavu, itd. Sve su one razmjerno bliske Mliječnom putu. Zvijezdane popula-



cije koje se sreću u ovim čudnim patuljastim galaksijama najsličnije su onima u eliptičnim galaksijama. Međutim, broj tih zvijezda jako je malen, i, smatra se da ih u prosjeku ima između 100 000 i nekoliko miliona. To znači, da njihove mase nisu mnogo veće od masa mnogih kuglastih skupova u Mliječnom putu. Udaljenosti patuljastih eliptičnih galaksija kreću se između 200 000 svjetlosnih godina (Sistem u Malom medvjedu i Zmaju) i 800 000 sv. godina (Sistemi Lav I i Lav II).

#### 4.5 SPECIJALNE VRSTE GALAKSIJA

Pored onih, tzv. normalnih galaksija, savremena astronomija poznaje čitav niz posebnih grupa galaksija koje imaju osobine koje ih čine različitim od gore pomenutih. Njihovo proučavanje je veoma važno iz više razloga, pa je vrijedno upoznati se sa nekima od njih. Bitno je imati na umu da se često dešava da pojedine galaksije iz jedne grupe nademo u katalogima neke druge vrste galaksija. To se dešava zbog toga što se do otkrića ovakvih vrsta često dolazi različitim metodama, pa nije čudo da se kod jedne galaksije otkrije nekoliko osobenih pojava. Tako npr, jedna galaksija koju svrstavamo u kompaktne može da bude i u katalogima plavih galaksija, ukoliko, intenzivno zrači u toj spektralnoj oblasti.



Sl.4.11. Patuljasta galaksija u Fornax-u. (Fotografija Harvard opservatorije, ADH teleskop).

1956. godine Haro je, snimcima načinjenim Šmit kamerom opservatorije Mt. Palomar, otkrio veći broj objekata koji su se posebno isticali po intenzivnom plavom zračenju. Ispitivanje snimaka, koji su bili načinjeni objektivnom prizmom opservatorije Lick, pokazalo je da kod mnogih plavih objekata postoje sjajne emisione linije koje odgovaraju visokom stepenu jonizacije. Ovi objekti prozvani su "Plave galaksije Haro-a". Po pravilu, svi ovi objekti su dosta slabog sjaja pa je poprilično teško vršiti neku klasifikaciju, jer i na 5-metarskom teleskopu oni imaju veoma male dimenzije. Jedan dio plavih galaksija mogao bi se ubrojati u spiralne i nepravilne sisteme većeg sjaja, ali, koje karakterišu velike mase gasova, koje se nalaze van jedra. Te gasovite mase mogu da budu jonizovane od strane gigantskih zvijezda visoke temperature. Kod druge grupe ovih galaksija mogu se zapaziti izrazito sjajne jedrene oblasti.

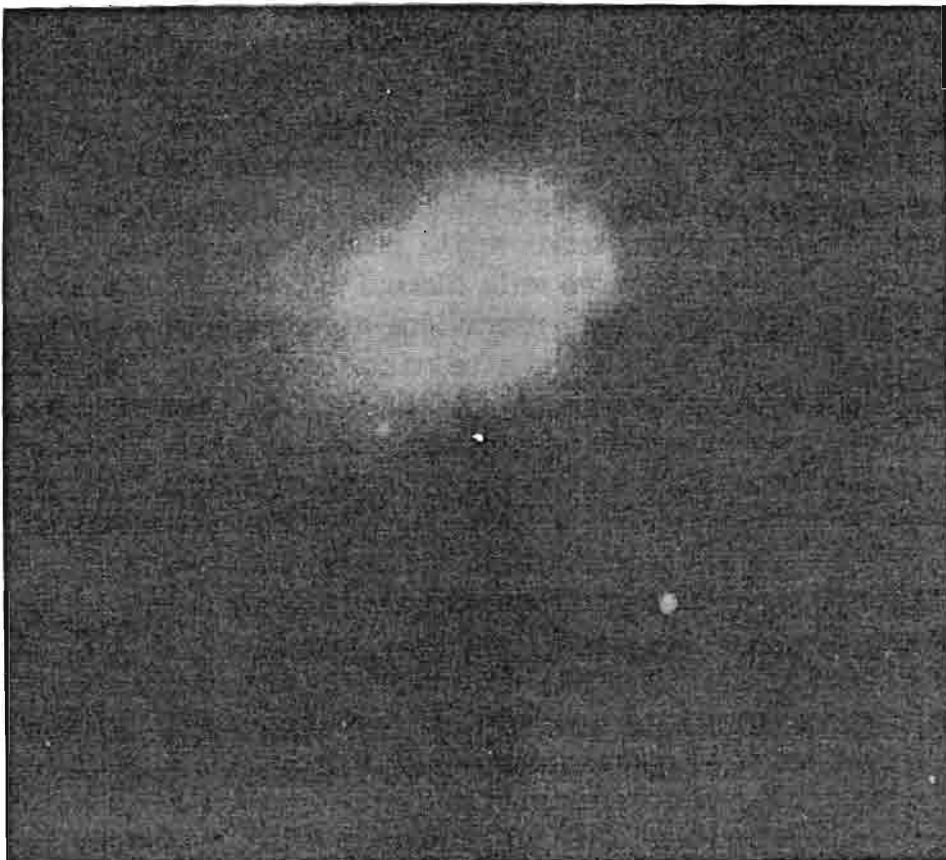
Sovjetski astronom B. Markarjan vršio je snimanja Šmit kamerom prečnika 1 metar, opremljenom objektivskom prizmom. Ovakvi snimci zahvatali su veće zone neba, a posebna pažnja posvećena je mjerenju intenziteta plavog dijela spektra. Tako je on uspio da otkrije veći broj plavih objekata. Prema njegovim procjenama oko 3% svih galaksija na nebu pripada plavim objektima. Neke od "Markarjanovih galaksija" bile su "Haro-ove", dio su kvazari, a neke nisu ulazile ni u kakve druge kataloge. Markarjan je opazio i jednu posebno zanimljivu grupu galaksija sa anomalijama u boji i spektru. To su žute galaksije čiji su spektri uporedivi sa spektrima zvijezda tipa A i F, a u jedru im se zapaža pojačanje intenziteta u ultraljubičastoj oblasti spektra.

Posebnu pažnju astronoma privlače pekularne i međudejstvujuće galaksije. Ne postoji neki određen kriterijum za to šta je pekularna galaksija. Izraz pekularan, u principu, odnosi se na nešto posebno, po nečemu izuzetno. U ovakve objekte možemo svrstati sve one neobične galaksije koje se ističu po osobinama što ih kod normalnih galaksija rijetko srećemo.

Posebno značajni bili su radovi američkog astronoma Haltona Arpa. Jednim posebnim programom, sa pet metarskim teleskopom, na Mt. Palomaru obavljeno je snimanje atlasa pekularnih galaksija. Arp je istakao nekoliko tipova galaksija iz svog atlasa. Tako su neke karakteristične po mlazu izbačene materije, druge imaju spiralne krakove neobičnih oblika, zatim je moguće naći galaksije prstenastog oblika, itd. Posmatrajući atlas galaksija, Sandage je registrovao nekoliko izrazito pekularnih galaksija. Tako NGC 128, u svom glavnom najsjašnjem dijelu, ima gotovo pravougaon oblik, a po velikoj osi tog pravougaonika ona se sužava na krajevima. Vrlo je teško zamisliti kako ta galaksija izgleda u prostoru jer joj oblik ne možemo vidjeti trodimenzionalno, već samo registrujemo njenu projekciju na ravan.

Neki autori u pekularne galaksije ubrajaju i tzv. međudejstvujuće. Da bi razjasnili šta su to međudejstvujuće galaksije bilo bi interesantno reći nešto o tzv. dvojnim i višestrukim galaksijama. Na nebu često možemo zapaziti da se dvije ili više galaksija nalaze dosta blizu jedna drugoj. U mnogim slučajevima može se raditi o čistoj prostornoj projekciji. Drugim riječima,

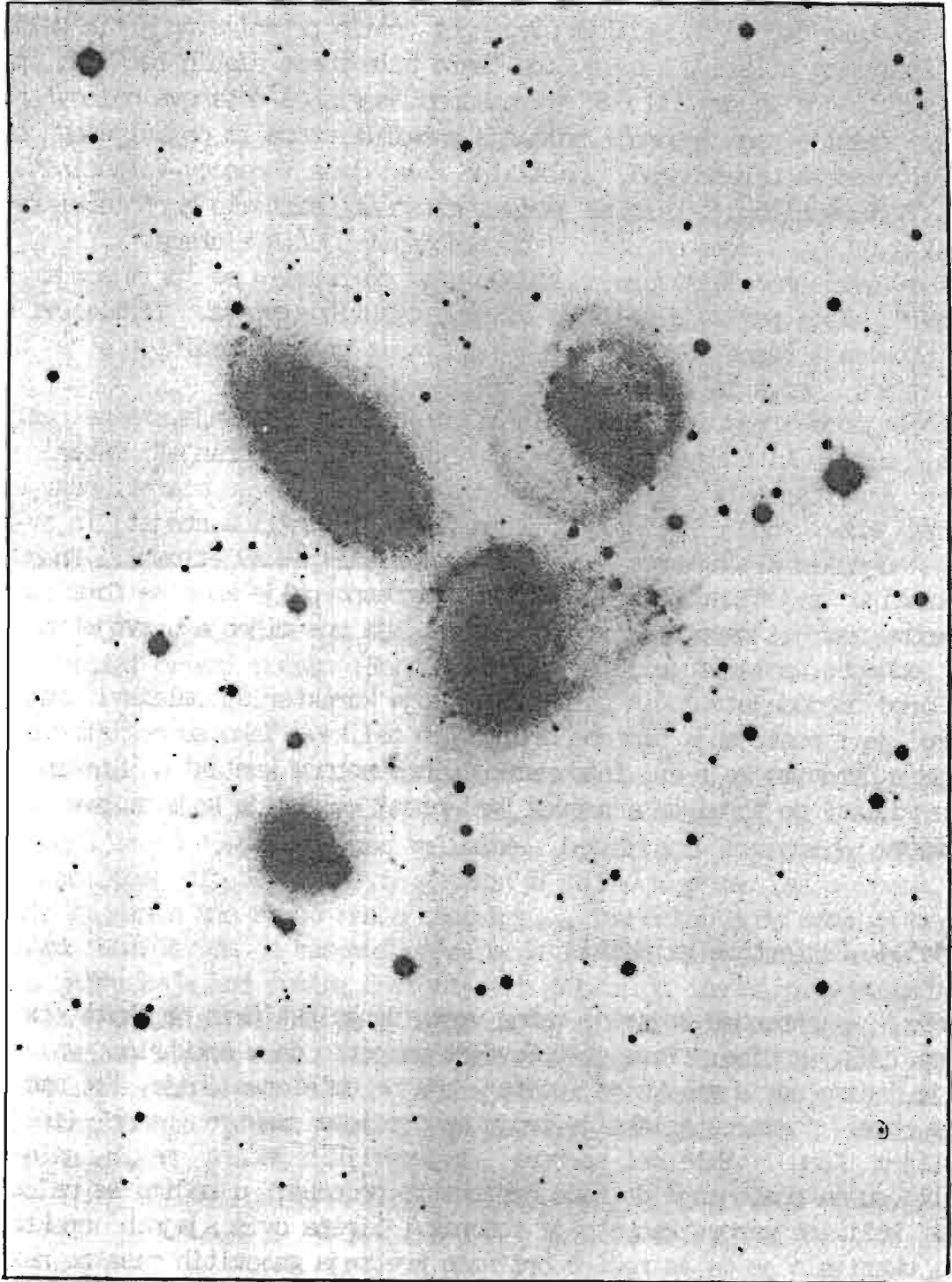




Sl.4.12 Pekularna (nepravilna) galaksija NGC 3077.  
(Fotografija Mt.Palomar opservatorije).

dvije galaksije se samo prividno nalaze blizu, a u stvarnosti one mogu da budu vrlo daleko jedna od druge. No, sigurno je, da se ovako ne mogu objasniti svi opaženi slučajevi, posebno, ako se pojave dodatne indikacije koje mogu ukazivati na neku stvarnu fizičku dvojnost ili višestrukost. Npr. ako uspijemo izračunati udaljenost do neke dvije galaksije koje su prividno bliske (ovdje možemo koristiti Hablov zakon širenja svemira - vidi 4.7) onda, ako su podjednako daleko, nema sumnje da su dvojne. Zatim, tu su i neki drugi metodi kao što je traženje mogućih "mostova" materije između njih, itd.

Vrlo poznata i karakteristična grupa galaksija je "Stefanov kvintet" (Sl. 4.13). Četiri galaksije imaju približno jednake crvene pomake (od 5920 do 7010 km/s) a peti član se udaljava daleko manjom brzinom (1070 km/s). Ranije se pretpostvljalo da i ova galaksija ulazi u kvintet, ali podatak o crvenom pomaku demantuje ovakve tvrdnje.



Sl.4.13. Arpov snimak Stefanovog kvinteta.  
(Fotografija Mt. Palomar opservatorije).

1959. godine sovjetski astronom B.A.Voroncov-Veljaminov objavio je atlas i katalog 365 međudejstvjućih galaksija i sistema galaksija. Atlas je napravljen tako što se sa velikim uvećanjem vršilo presnimavanje tih galaksija iz Palomarskog atlasa u kome su one često bile poput slabih tačkica, pa su samo ispitivanja lupom, ili čak mikroskopom, mogla da ustanove njihovo postojanje. Kasnije su vršena i snimanja mnogih sistema iz objavljenog atlasa (Arp-Palomarskim teleskopom). Galaksije iz atlasa Voroncov-Veljaminova nose oznaku VV i redni broj. Kasnije je isti astronom sastavio Morfološki katalog galaksija (MCG), u kome se našlo 1765 međudejstvjućih sistema.

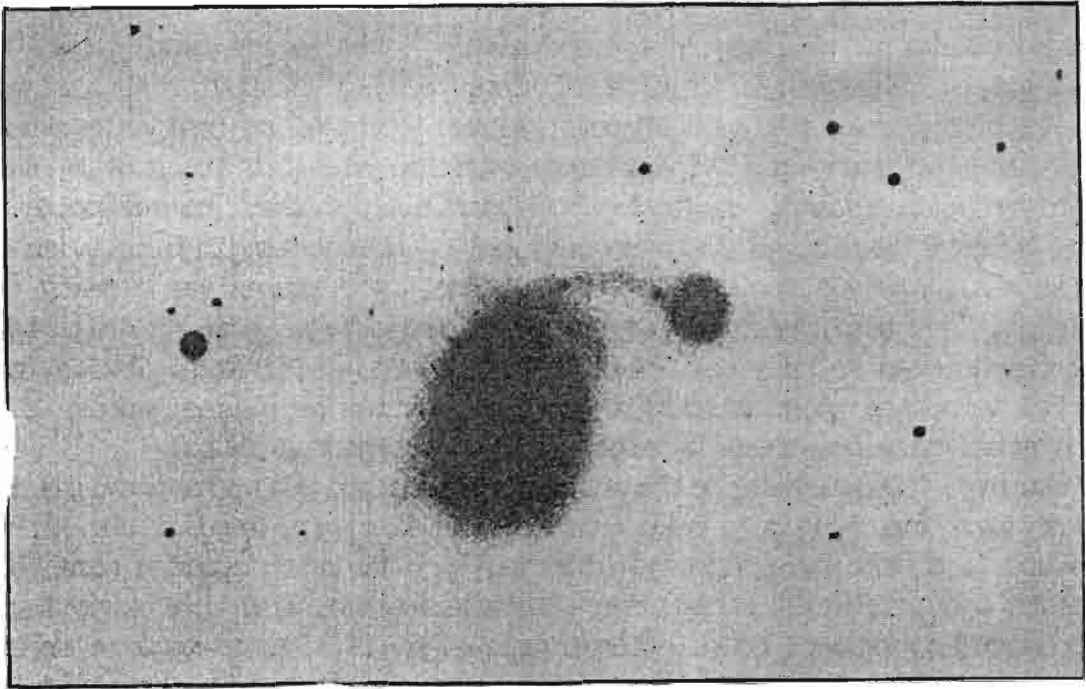
Kod svih međudejstvjućih galaksija, po pravilu se primjećuju razni "mostovi", koji povezuju pojedine članove ovakvih sistema. Ti mlazevi materije poprimaju razne oblike, negdje su kompleksni i izraziti, a u drugim slučajevima, jedva se vide kao slabi filamenti.

Postojanje "mostova" među galaksijama može se objašnjavati na različite načine, ali nema sumnje da se radi o nekoj vrsti "isticanja" materije pod dejstvom gravitacionih i elektromagnetnih sila ukoliko su mlazevi nezvezdane prirode. Mnogi podaci govore da bi se "mostovi" mogli sastojati iz zvijezda, ali je u nekim slučajevima utvrđena polarizacija svjetlosti. Znamo, da polarizaciju svjetlosti može uzrokovati magnetno polje koje se formira u jonizovanom gasu, i raspoređuje čestice tako, da one mijenjaju svojstva svjetlosti, odnosno, polarizuju je.

Pored međudejstvjućih galaksija, koje karakterišu mlazevi materije, opaženo je i 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.

## 4.5.1 Seyfertove galaksije

Ova, za astronome izuzetno važna vrsta vangalaktičkih objekata otkrivena je još 1963. godine. Tada je C.Seyfert saopštio da u spektrima galaksija, tačnije jedara nekih galaksija, postoje sjajne emisione linije. Već smo pomenulida tzv. normalne galaksije imaju apsorpcione spektre (tamne linije na svjetlijem fonu). Emisioni spektri, zvjezdolikih jedara nekih galaksija, ukazali su na postojanje do tada nepoznatih procesa, u kojima se oslobađaju velike količine gasova kao što je vodonik. Širina ovih sjajnih spektralnih linija ukazivala je da se radi o brzinama kretanja gasovitih masa do nekoliko hiljada kilometara u sekundi. Odmah nakon što 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.



Sl.4.14. Seyfertova galaksija NGC 7603 i njen pratilac kod kojega je izmjeren veliki crveni pomak. (Fotografija Mt. Palomar opservatorije).

Pokazalo se još u nekoliko slučajeva da su Seyfert-ove galaksije ujedno i izvori radio emisija. Ova 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 kao radio izvor. Drugi dio ovih objekata ima slabo radio zračenje, a izvjeztan broj nema ga uopšte.

Nema sumnje da je osnovni uzrok pojavi emisionih linija neka "aktivnost" u jedru koja kod većine Seyfert-ovih galaksija ima malo zvjezdolik izgled. Astronomi nisu složni po pitanju da li se ova jedra sastoje od zvijezda ili ih u njima uopšte nema. Takođe nisu razjašnjeni fizički procesi koji dovode do izbacivanja materije iz jedara što se manifestuje na spektrima. Novija istraživanja prave vezu između Seyfert-ovih galaksija i kvazara kao sličnih objekata.

#### 4 . 6      S K U P O V I      G A L A K S I J A

Već prva detaljnija posmatranja galaksija pokazala su da se ove, u nekim dijelovima neba, mogu naći u daleko većem broju nego u drugim oblastima. Naravno, ovdje se isključuje opadanje broja galaksija 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, obično, nazivamo skupovima galaksija.

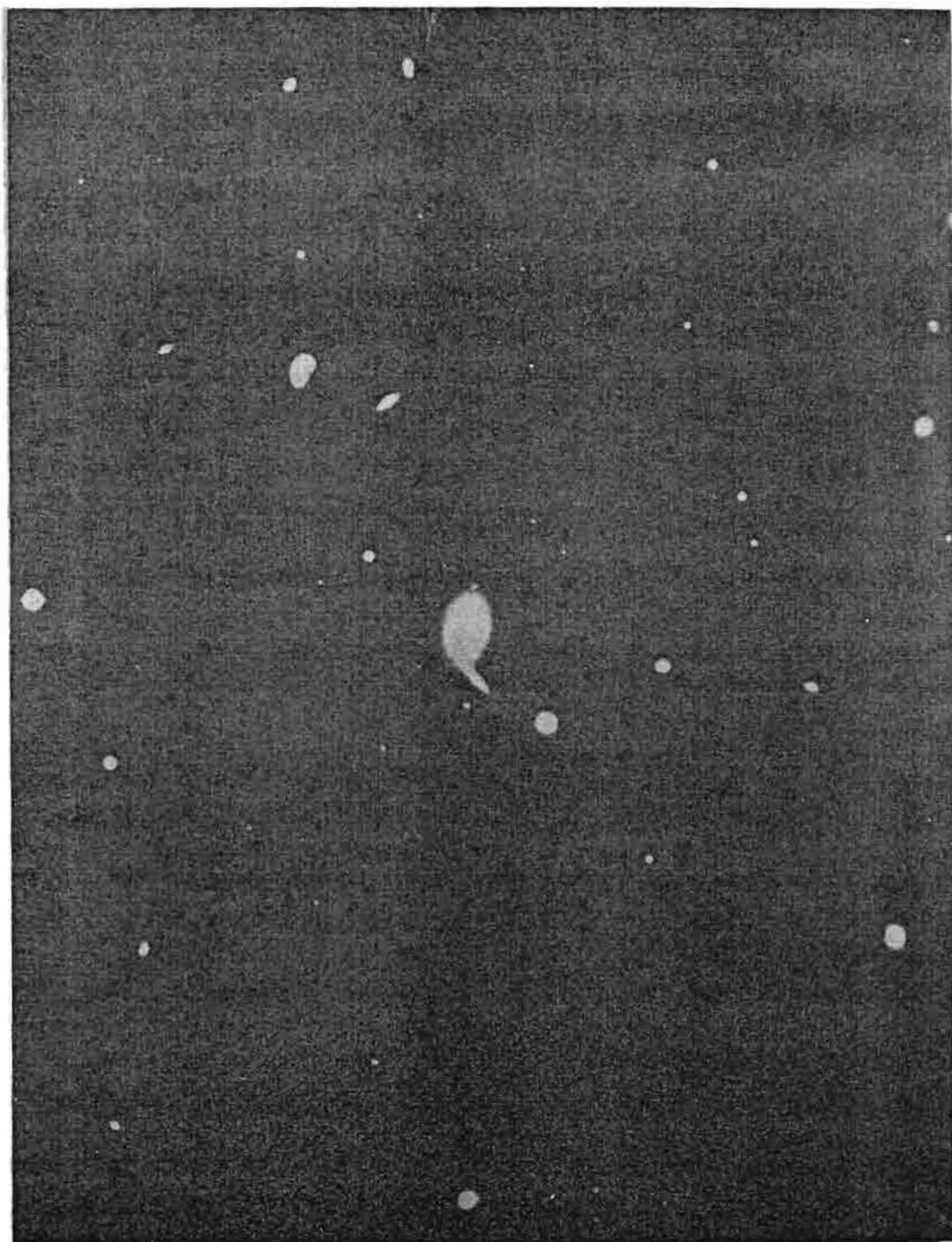
Po svom opštem obliku, skupovi galaksija slični su rasijanim skupovima samo, što ovdje umjesto zvijezda imamo galaksije. Izrazito gustih skupova uporedivih sa, recimo, kuglastim zvjezdanim skupovima, ne možemo naći na nebu. Njihove granice su dosta neodređene, a u unutrašnjim dijelovima zapažaju se različite gustine. Jedan od problema, kod istraživanja nekog skupa galaksija, je u činjenici da se oni često projektuju jedan na drugi tj. na istom pravcu mogu se naći nama bliži i neki znatno dalji skup. Takođe, možemo govoriti o "opštem polju galaksija" čija je gustina približno jednaka u svim zonama neba, pa i one unose nejasnoće u brojnost jednog skupa.

Skupove galaksija po nekim autorima možemo podjeliti 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 gotovo u potpunosti su 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) i prikazan je na slici 4.15.

Skupovi galaksija nalaze se na ogromnim udaljenostima od nas. Rastojanja se određuju na osnovu njihovog crvenog pomaka, tj. Hablovim zakonom. Takođe se može koristiti činjenica da je apsolutni sjaj najsjajnijih 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. Pored ovoga mogu se koristiti i eksplozije supernovih u nekim od galaksija iz skupa.

Veliki broj skupova galaksija pronađen je na kartama Palomarskog atlasa, koji je snimljen Šmit kamerom prečnika 120 cm.

Svakako, astronome je zainteresovalo i to, da li postoje sistemi višeg reda nego što su skupovi galaksija, tj. da li postoji (ili postoje) skup skupova galaksija. Mišljenja naučnika o ovom pitanju razlilazila su se, a pokušaji, da se iz postojećeg posmatračkog materijala izvuku dokazi za ili protiv hipoteze o postojanju skupa skupova nisu urodili plodom. Teškoće ovakvih istraživanja velike su i, za sada jedino sigurno da ne možemo ništa tvrditi u vezi ovog problema. Vaucouleurs i još neki autori smatraju da bi se moglo govoriti o postojanju nekog superskupa. Ovi astronomi predpostavljaju da galaksije koje nas okružuju tvore jedan gigantski sistem sa središtem u skupu galaksija u Djevici. Dati su čak i podaci o rotaciji naše galaksije oko središta supersistema. Ta brzina bi trebala da iznosi oko 500 km/s. Vaucouleurs smatra da je slične supersisteme opazio i u drugim oblastima neba na većim rastojanjima.



Sl.4.15. Skup galaksija u sazviježđu Berenikina kosa.  
(Fotografija Mt. Palomar opservatorije).

4.7 HABLOV ZAKON ŠIRENJA  
SVEMIRA

Jedno od najfundamentalnijih otkrića u svijetu galaksija izvršio je Edvin Hابل, astronom sa Mt. Wilson opservatorije. On je ustanovio da spektralne linije svih galaksija, izuzev onih nama bliskih, imaju veći ili manji pomak ka crvenom dijelu spektra. Jedino moguće objašnjenje ove pojave je u tome da je ona izazvana Doplerovim efektom. Pokazalo se, takođe, da je odnos promjene talasne dužine prema samoj talasnoj 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 poporcije:

$$\frac{v}{c} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \quad (1)$$

Ovdje je "v" brzina udaljavanja a "c" brzina svjetlosti.  $\lambda$  označava talasnu dužinu a  $\Delta\lambda$  promjenu talasne dužine svjetlosti.

Takođe 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 jače pomjerene ka crvenom dijelu spektra. Brzo se pokazalo da je ovaj zakon crvenog pomaka ili Hابلov zakon jedan od osnovnih zakona prirode i svemira koji poznajemo.

Pokazaćemo sada način na koji je Hابل došao do svog zakona. Pretpostavićemo da zakon crvenog pomaka u galaksijama vrijedi i ispunjava jednačinu:

$$c \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = H \cdot r \quad (2)$$

H predstavlja neku konstantu proporcionalnosti i naziva se Hابلova konstanta. Iz opšte astronomije poznata je relacija koja povezuje prividni sjaj nebeskog objekta (m), apsolutni sjaj objekta (M), njegovu udaljenost (r). Ta relacija glasi:

$$m = M + 5 \log r - 5 \quad (3)$$

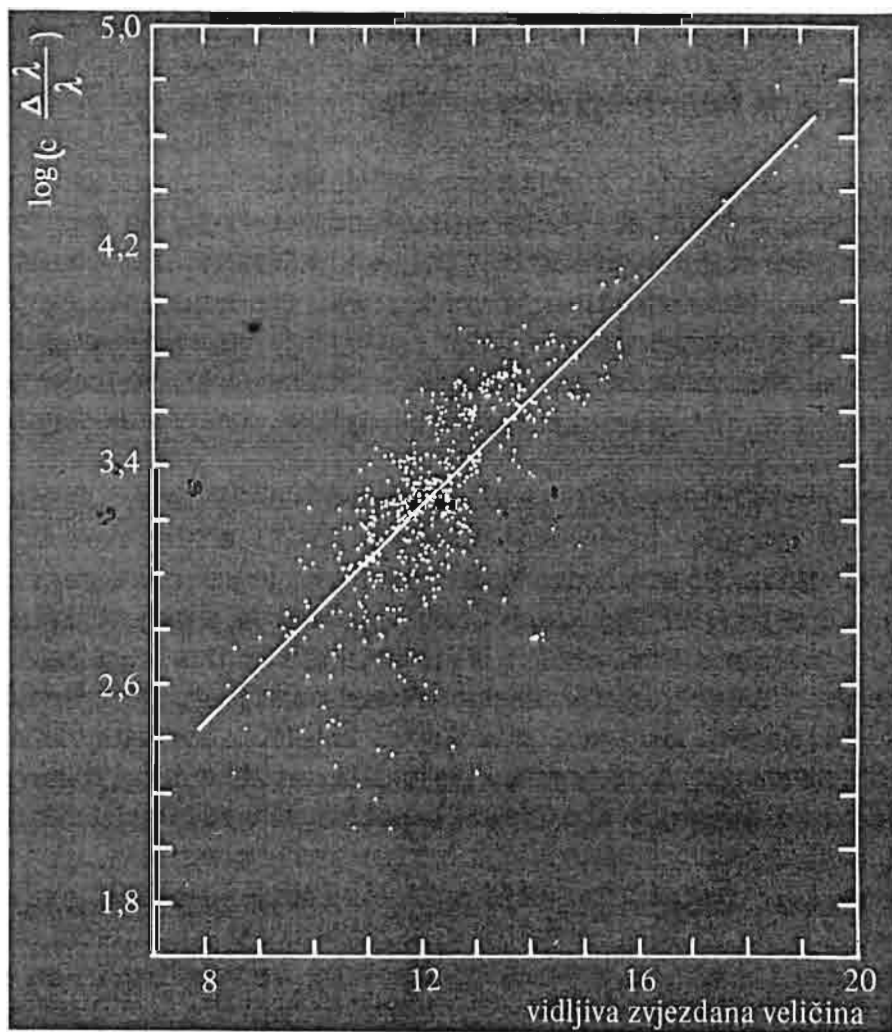
jednačine (2) izrazimo "r" i dobijamo:

$$m = 5 \log \left( c \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \right) + M - 5 - 5 \log H \quad (4)$$



U ovoj jednačini posljednja 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, Hابل

je došao do podataka za grafik, prividna veličina " $m$ " -  $\log(c \frac{\Delta\lambda}{\lambda})$ , što je prikazano na slici 4.16. Pokazalo se da se sve tačke nalaze raspoređene duž jednog pravca. Do odstupanja dolazi zbog toga što pretpostavka, da sve galaksije imaju isti apsolutni sjaj, nije tačna. Kasnije su u razmatranja 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.



Sl.4.16. Grafik Hablovog zakona.

Tako se došlo do čuvenog Hablovog zakona širenja svemira koji glasi:

$$v = H r$$

Ovaj zakon vrijedi samo za slučaj da do pomaka ka crvenom dolazi usljed Doplerovog efekta. Neki naučnici su predlagali druga rješenje za objašnjenje crvenog pomaka. Bio je uveden pojam "starenja kvanta". Po toj teoriji, fotoni, krećući se kroz prostor, gube dio energije. Frekvencija im postaje manja, a talasna dužina veća. Međutim, oni, koji su dali ovakvu pretpostavku, nisu objasnili kako fotoni gube energiju, a prema zakonu o održanju energije, ova, mora da ima uzrok gubitka.

Javljala su se i objašnjenja da fotoni gube energiju zbog svojih sudara sa drugim fotonima i česticama materije. U tom slučaju pravac kretanja fotona mjenjao bi se i likovi dalekih galaksija bi bili veoma razmrljani, a, što znamo-nije slučaj. Prema tome, jedino prihvatljivo objašnjenje je da do pomaka ka crvenom dolazi zbog udaljavanja galaksija.

#### 4.7.1 Mjerenje Hablove konstante

U prethodnom izlaganju služili smo se Hablovom konstantom ne ulazeći u to kolika je njena vrijednost. Pošto se koeficijent  $H$  javlja kao jedna od osnovnih prirodnih konstanti, naravno, da je određivanje njene veličine veoma značajno. Teškoća kod određivanja vrijednosti ove konstante sastoji se u tome, da je Hablov zakon tačniji što je rastojanje neke galaksije veće. Kod bližih galaksija njihove sopstvene radijalne brzine u velikoj mjeri utiču na netačnost mjerenja. Kod galaksija koje su daleko, radijalne brzine postaju zanemarljivo male.

Za određivanje Hablove konstante postoji jedna jedina, za sada poznata metoda. Prvo je potrebno iz crvenog pomaka odrediti brzinu neke dovoljno daleke galaksije. Zatim je neophodno naći njenu udaljenost. U tome i jeste najveći problem. U astronomiji je raspostranjena metoda promjenljivih zvijezda koja omogućava mjerenja udaljenosti svih objekata koji u svom sastavu imaju ovakve zvijezde. Veliki teleskopi mogu registrovati promjenljive zvijezde u samo nekoliko bliskih galaksija, a već smo vidjeli da na njih ne možemo primjenjivati Hablov zakon. Zbog toga su se morali tražiti drugi putevi.

Pojave novih i supernovih zvijezda u nekim galaksijama takode omogućavaju određivanje udaljenosti. Drugi metod bazira se na pretpostavci, da bi sve galaksije istog tipa trebalo da imaju približno isti apsolutni sjaj. Udaljenost bližih odredi se na neki drugi način i nađe njihov apsolutni sjaj. Onda se uzme da i ostale imaju tu vrijednost apsolutnog sjaja i ovim se nađe udaljenost.

Nakon dužeg vremena Habl je došao do zaključka da vrijednost konstante  $H$  iznosi 50 km/s na megaparsek. Međutim, kasnija ispitivanja koja je proveo Baade pokazala su da je ova prvobitna ocjena bila netačna jer se bazirala na pogrešno određenoj udaljenosti nama bliske spiralne galaksije u Andromedi. Pokazalo se da postoji razlika u zavisnostima perio-apsolutni sjaj za dva osnovna tipa cefeida. Ranije se smatralo da za oba tipa cefeida vrijedi ista

zakonitost. Ova i druga istraživanja su dovela do zaključka da vrijednost Hablove konstante iznosi:  $H = 75 \text{ km/s Mps}$ . To praktično znači da, ako se ona udaljava brzinom od  $75 \text{ km/s}$ , ona dva puta dalja, udaljava se dva puta većom brzinom itd.

Poznajući Hablovu konstantu, možemo odrediti udaljenost ma kog objekta iz svemira od koga nam dopire svjetlost. Pored ovoga, možemo doći do još nekih korisnih podataka. Odredićemo vrijeme koje je potrebno da ma koja galaksija dođe iz početne tačke na danas posmatranu udaljenost. To možemo izvesti podjelivši veličinu jednog megaparska, izraženu u kilometrima, sa veličinom Hablove konstante. Tako imamo:

$$\frac{1 \text{ M}_{\text{ps}}}{75 \text{ km/s}} = \frac{3.81 \cdot 10^{19} \text{ km}}{75 \text{ km/s}} = 17 \cdot 10^9 \text{ godina}$$

Prema tome, od trenutka kada je širenje započelo, proteklo je oko 17 milijardi godina. Taj vremenski period predstavlja starost posmatranog dijela svemira. Takođe možemo naći srednju gustinu materije u vidljivom svemiru.

Proračun daje vrijednost od  $3 \cdot 10^{-31} \text{ g/cm}^3$ . Ova gustina važi za vrijednost Hablove konstante koju smo dali. Najveća brzina udaljavanja koja je zabilježena kod galaksija iznosi oko  $100\,000 \text{ km/s}$ .

#### 4.8 PROBLEMI KOSMOLOGIJE

Istraživanjem svemira u velikim razmjerama, odnosno onog, nama dostupnog dijela univerzuma, bavi se kosmologija. U kosmologiji su mjere u milijardama svjetlosnih godina i milijardama običnih godina. Kosmologija nam otvara put u svijet beskonačno velikog, za razliku od fizike elementarnih čestica koja se bavi beskonačno malim. Tako bi čovjek i njegova egzistencija bili smješteni između dvije podjednako nerazumljive beskonačnosti čije istraživanje nas vodi ka sve novijim i novijim spoznajama.

Istorijski gledano, Ptolomejev i Kopernikov sistem svijeta bili su, takođe, neka vrsta kosmoloških modela. S obzirom na ograničenost znanja, kojima je tada čovječanstvo raspolagalo, težište ovih sistema svijeta bilo je bačeno na naš planetarni sistem. Gledanje na svemir pretrpjelo je korjenitu promjenu od Keplerovih kristalnih sfera, preko heretičkih ideja Đordana Bruna o beskonačnosti svemira, pa do Njutnove klasične slike svemira sa apsolutnim prostorom i vremenom. Ovakav model svemira zadržao se sve do pojave teorije relativnosti (tačnije opšte teorije relativnosti), a osnovna karakteristika mu je da u svemiru vrijede postulati Euklidove geometrije, da je on stacionaran (tj. da ne postoje nikakva kretanja većih razmjera) i da je homogen. Pod homogenošću se ovdje misli na to da je po opštim karakteristikama (raspored

materije u obliku zvijezda i galaksija, gustina materije, itd) bilo koja tačka svemira slična ma kojoj drugoj.

Znatno prije objavljivanja opšte teorije relativiteta, pojavila su se mišljenja da nešto nije u redu sa ovakvom slikom svemira. Te teškoće homogenog, stacioniranog i euklidskog svemira bile su izražene preko dva čuvena paradoksa. 1826. godine Olbers je formulisao svoj fotometrijski paradoks. Ako je svemir beskonačan, razmišljao je Olbers, tada on zbog homogenosti sadrži beskonačno mnogo zvijezda. Sve te zvijezde šalju svoju svjetlost i, kada se posmatra konkretan slučaj Zemlje, tada bi na nju trebalo da pada beskonačno mnogo svjetlosti. Uzevši u obzir moguću apsorpciju svjetlosti i prekrivanja jednih zvijezda drugima, dolazimo do zaključka da ta svjetlost u praktičnom slučaju ne bi bila beskonačna, već ograničene jačine, ali ipak dovoljna, da recimo, noćno nebo sjaji kao da je Sunce na njemu. Znamo da je zvjezdano nebo dosta tamno i zato se ovdje javlja paradoks. Znači, ili svemir nije homogen, ili nije beskonačan.

Do sličnog paradoksa dolazi se ako se zakon gravitacije pokuša primjeniti na ovakav model svemira. Iako dolazimo do zaključka da će u opisanom modelu svemira gravitaciona energija međudjelovanja sa svim drugim tijelima biti beskonačna. Istovremeno će sila međudjelovanja tog tijela sa svim masama u svemiru biti neodređena. U praksi značilo bi to da Njutnov zakon gravitacije ne vrijedi, a mi, ipak, vidimo da se planete kreću oko Sunca u skladu sa ovim zakonom.

I primjena zakona termodinamike dovodi nas do neprihvatljivih rezultata. Znamo 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 nisu nikada registrovani. Ako je svemir stacionaran (a to znači ujednodopostojibeskonačnodugo) tada je on morao već doći u stanje ravnoteže te bi se sva toplina u njemu podjednako rasporedila na sva tijela. Nastupila bi tzv. "toplotna smrt" i sva bi kretanja prestala. Pošto očigledno, ni jedna nama poznata pojava ne svjedoči u korist ovakvog stanja, jasno je da nešto nije u redu sa predloženim modelom svemira.

Pojava Ajnštajnovе opšte teorije relativiteta unijela je mnogo novih gledanja na čitav problem. Osnovna crta ovog novog fizikalnog pogleda na svijet bilo je uopštavanje Njutnovе teorije gravitacije. Pored toga, opšta teorija relativnosti je otklonila protivrječnosti koje nastaju zbog konačne brzine prostiranja međudjelovanja. Maksimalna brzina međudjelovanja je jednaka brzini prostiranja svjetlosti. Ajnštajn je pokazao svojom teorijom da prostor (u opštoj teoriji relativiteta je prirodnije koristiti izraz prostor-vrijeme) uopšte govoreći, nije euklidski. Geometrija prostora-vremena je određena materijom. Vidimo da ovaj novi pogled na svemir počinje time što negira euklidnost a, barem u početku, polazi od stacionarnosti i homogenosti.

Polazeći od svoje opšte teorije relativiteta, Ajnštajn je došao do svog, tzv. sferičnog svijeta. Izraz "svijet" sadrži u sebi tri prostorne i jednu vremensku koordinatu. Sam oblik jednačina gravitacije koje se pojavljuju u opštoj teoriji relativnosti je takav, da ne dozvoljava postojanje rješenja u kome bi svemir bio stacionaran. Da bi uklonio protivrječnosti, Ajnštajn uvodi hipotetski ili lambda član u svoje jednačine. Sadržeci lambda član, jednačine gravitacije imaju jedno jedino rješenje koje je neovisno o vremenu. Fizikalno gledano, lambda član je bio "mjera" za gravitaciono odbijanje. Ajnštajn je, naime, pretpostavio da na ogromnim udaljenostima, kakve su one između galaksija ili, još bolje, skupova galaksija, postoji umjesto privlačne sile, neka odbojna. Ta odbojna sila sprečava svu materiju svemira da zbog dejstva gravitacije postepeno sva padne u jednu istu tačku.

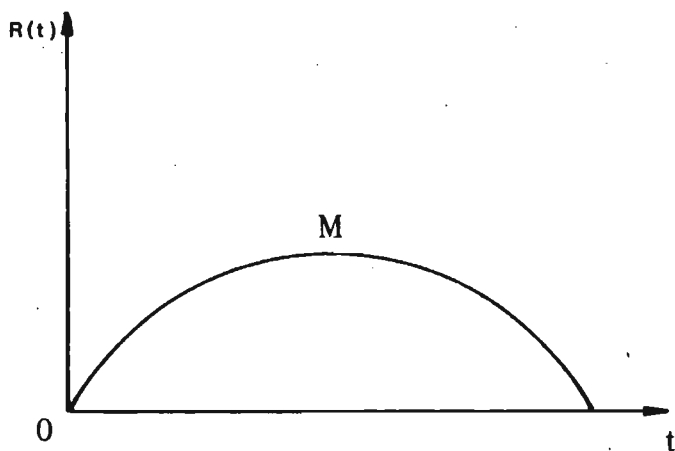
Automatski zaključak koji slijedi iz Ajnštajnovog sfernog stacionarnog svijeta je da je on konačan. Vremenski on može da postoji beskonačno dugo, ali je po volumenu konačan i, putujući dovoljno dugo po njemu, mi bi se, slično Magelanu, ponovo vratili u istu tačku iz koje smo pošli. U ovakvom zakrivljenom prostoru i svjetlost putuje tako što slijedi tu opštu zakrivljenost. Van ovakvog svemira može nešto i da postoji, ali mi o tome ne znamo ništa, niti postoji način da saznamo.

Ovakav model svemira, naravno, nije zadovoljio naučnike. Ubrzo su se pojavila mišljenja da se svemir možda, ipak, vremenom mijenja tj. da se narušava njegova stacionarnost. Sovjetski fizičar A.A. Fridman prvi je došao na tu ideju i dao svoju teoriju u kojoj je pokazao da jednačine opšte teorije relativnosti imaju i druga rješenja koja, zadržavajući homogenost, dozvoljavaju postojanje svemira koji nije stacionaran. Fridman nije odbacio lambda član, ali je pokazao da, u slučaju da je lambda jednako nuli, postoje tri nestacionarna rješenja.

Kakav bi svemir bio zavisi, isključivo, od toga kolika je srednja gustina materije i kako se ona odnosi prema jednoj teorijski određenoj kritičnoj gustini. U zavisnosti od toga možemo posmatrati ta tri modela pojedinačno. Ovdje opisani modeli su Fridmanovski, samo u smislu njihove geometrije i opšteg ponašanja, a dopunjeni su savremenim astrofizičkim saznanjima i teorijama.

#### 4.8.1 Zatvoreni model

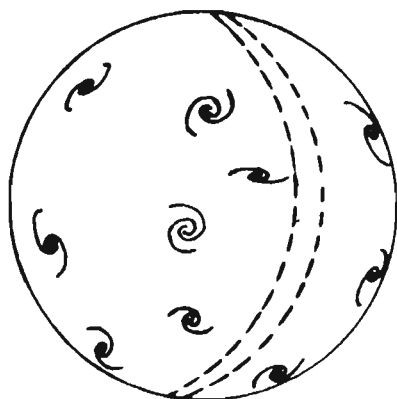
Ako je gustina materije u svemiru ( $\rho$ ) veća od kritične gustine ( $\rho_k$ ), tada u okviru Fridmanove teorije imamo slučaj sa neeuclidskim sfernim "svijetom" promjenljivog radiusa. Grafička zavisnost radiusa ovakvog svemira od vremena prikazana je na slici 4.17, a dvodimenziona analogija geometrijski prikazana na slici 8.18. Dakle, u ovom slučaju svemir će se širiti milijarde godina sve dok gravitacione sile ne nadjačaju uticaj sila koje su izazvale širenje. Tada će galaksije i sva druga materija početi da "padaju" ka



Sl.4.17. Grafička zavisnost radiusa svemira od vremena za zatvoreni model.

Kada se svemir skupi na dva hiljadita dijela sadašnjeg radiusa, temperatura zračenja će porasti na pet do šest hiljada stepeni Kelvina. Tada će čitavo nebo posmatrano sa Zemlje (naravno, ukoliko bi ona tada, uopšte, postojala) biti po sjaju ravno sjaju Sunca kako ga vidimo danas. Prema postojećem znanju o evoluciji zvijezda Sunce će "sagoriti" znatno ranije. Pri ovakvoj temperaturi zračenja vanjski slojevi manje masivnih zvijezda, počće da se odvajaju, a pojedinačni atomi da se cjeпаju na jezgre i elektrone. Ti slobodni elektroni rasijavaće zračenje i "nebo" će postati neprozirno. Nakon još nekoliko stotina hiljada godina skupljanja temperatura zračenja će porasti na više miliona stepeni, što odgovara temperaturama u središtima zvijezda. Zvijezde će prosto "proključati" i eksplodirati. Za samo nekoliko nedjelja temperatura svemira će se popeti na milijardu stepeni, i čak će se jezgra raspasti na protone i neutrone. Skupljanje će tada teći sve brže i brže. Temperatura svemira za nekoliko minuta porašće za bilion stepeni, a protoni i neutroni dezintegrisaće se na kvarkove. Za samo hiljadinku sekunde temperatura će se popeti na  $10^{32}$  stepeni. Gustina čestica enormno će porasti, pa će ih u volumenu normalnog atomskog jezgra biti onoliko-koliko danas atomskih jezgara sadrži Sunce. Ta gustina mče sa prikazati brojem  $10^{93}$  grama po kubnom centimetru.

centru, odnosno, doći će do velikog kolapsa. U isto vrijeme i zračenje će početi da se ponaša poput vazduha koji komprimiramo. Porastom temperature zračenja nebo će postati sjajnije. Kada se svemir skupi na stoti dio sadašnjeg radiusa, zračenje koje će ispunjavati svemir, dcstići će temperaturu Zemlje. Galaksije će se stapati jedna u drugu, ali zvijezde će još postojati kao pojedinačna zgušnjena materije.



Sl.4.18 Zatvoreni model svemira

Da bi se ovo stanje moglo opisivati Ajnštajnova opšta teorija relativiteta mora biti zamjenjena kvantnom teorijom gravitacije, koja još nije

uspješno uspostavljena. Zbog toga nije moguće tačno reći šta će se desiti dalje. Neki vjeruju da će svemir početi ponovo da se širi, ali su isto tako moguća mišljenja da to predstavlja kraj. Na ovom stadiju, relativistički gledano, i prostor-vrijeme bi se raspao, pojmovi udaljenosti i vremena izgubili bi svoj smisao. Bilo bi nemoguće odvajati prošlost od budućnosti, pa se stoga i ne može govoriti o tome šta će biti poslije, ako to "poslije", možda, dolazi ranije od onog "prije".

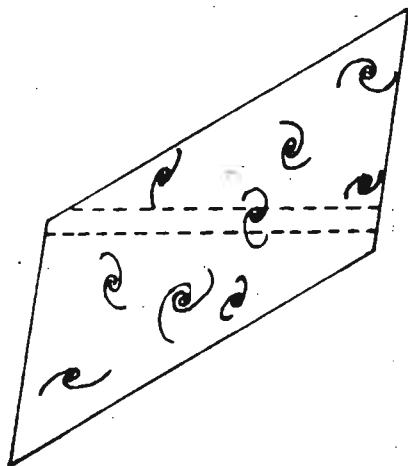
#### 4.8.2 Otvoreni model

Ako je gustina svemira ( $\rho$ ) manja od ( $\rho_k$ ) tada širenje traje neograničeno dugo. U ovom modelu neeuclidiska geometrija svijeta je takva, da imamo prostor sa konstantnom negativnom krivinom. Dvodimenzionalna analogija je površina hiperboloida (vidi sliku 4.19). Grafikon zavisnosti radiusa svemira od vremena, za ovaj model, dat je na slici 4.20.

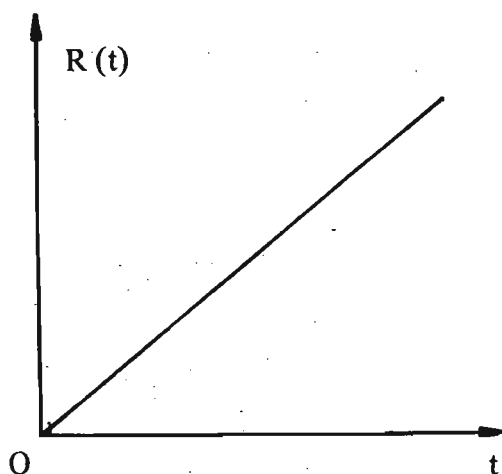
Sve zvijezde će postupno sagoriti svoje nuklearno gorivo i skupiti se u stadij bijelih patuljaka, neutronske zvijezde, ili crnih jama (u zavisnosti od mase zvijezde). Većina ovih mrtvih zvijezda postepeno će napustiti galaksije, ali će se izvjestan manji procenat sakupiti u jezgrima i formirati džinovske crne jame sa masama od više milijardi sunaca. Dio mase svemira ostaće i u međuzvezdanom gasu.

Šta će se dalje desiti sa mrtvim zvijezdama i gasom zavisi od toga, koja je od teorija fizike elementarnih čestica tačnija. U manjoj ili većoj mjeri, sve ove teorije pretpostavljaju da su i osnovne elementarne čestice nestabilne, i da doživljavaju raspad u ogromnim vremenskim periodima. Drugim riječima materija koju poznajemo je radioaktivna (ma kako slaba bila ta radioaktivnost) i samim tim ne može postojati vječno.

Prema najjednostavnijim teorijama jedinstvenog polja svi protoni i neutroni u međuzvezdanom gasu i mrtvim zvijezdama raspašće se nakon  $10^{31}$  godina. Masa-energija ovih čestica preći će u zračenje, elektrone i pozitrone. Elektroni i pozitroni, kada su izolovani, predstavljaju apsolutno stabilne čestice. Susret elektrona i pozitrona, kao



Sl.4.19. Otvoreni model svemira.



Sl.4.20. Grafikon za otvoreni model.

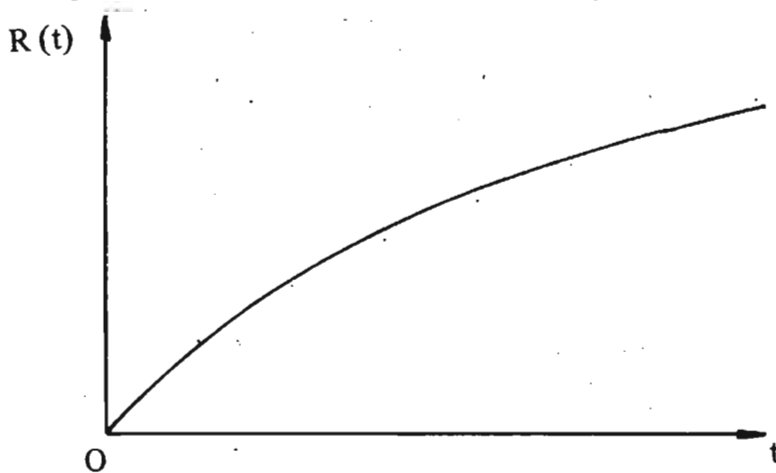


što je poznato, dovodi do anihilacije pri kojoj se njihova masa-energija pretvara u zračenje. Znači, ostaje nam da vidimo kolike su šanse da se elektroni i pozitroni postepeno sreću i, kakav će biti konačan rezultat svega toga. Ako je gustina materije u svemiru manja od kritične (kako smo pretpostavili u početku), tada će se čestice, u okviru širenja udaljavati jedna od druge. Tako neće biti šansi da se par elektron-pozitron ikada sretne i anihilira. Zbog širenja temperatura čestica i zračenja će opadati ali različito.

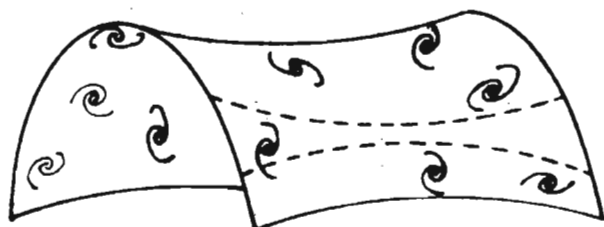
Drugim riječima zračenje i čestice neće biti u toplotnoj ravnoteži. Ukoliko dođe do međusobne interakcije tada će energija ići od toplije ka hladnijoj komponenti tj. ostvarivaće se tendencija toplotne ravnoteže. U manjim lokalnim okvirima dolaziće do toplotnog izjednačenja ali će širenje, generalno gledano, biti jače i neće dozvoliti da se izbrišu razlike u temperaturi. U ovakvom modelu toplotna smrt svemira nemoguća je.

### 4.8.3 Prelazni model

Ukoliko se širenje svemira odvija na način koji prikazuje grafikon na slici 4.21, tada je geometrija "svijeta" ravna što u dvodimenzionalnoj analogiji vidimo na slici 4.22. Za ovaj slučaj karakteristično je da je gustina



Sl.4.21. Grafikon za prelazni model.



Sl.4.22. Prelazni model svemira.

materije jednaka kritičnoj gustini, i tada će se svemir širiti vječno. Gravitacija će postajati sve slabija, kako se čestice budu kretale, a brzina širenja će konstantno opadati no, nikada neće postati jednaka nuli.

Ovakvom modelu odmah se može staviti primjedba da ne izgleda previše vjerovatno, jer zašto da materija svemira ima baš takvu gustinu, a ne veću ili manju. Pretpostavimo da ipak, zbog nekog nama nepoznatog razloga, svemir ima upravo takve karakteristike. Kontinuirano opadanje brzine širenja dozvoljava električno privlačenje elektrona i pozitrona. Te čestice vremenom bi se mogle kretati dovoljno sporo da formiraju "pozitronium" koji bi bio sastavljen

iz nestabilnih atoma, što ih grade elektroni i pozitroni, orbitirajući jedan oko drugog. Ukoliko većina protona i neutrona doživi raspad nakon  $10^{30}$  godina, tada će elektroni i pozitroni preostali od tog raspada da formiraju pozitronijum poslije  $10^{71}$  godina. Prečnik svemira će tada biti za  $10^{40}$  puta veći od prečnika današnjeg svemira. Svi ti elektroni i pozitroni bi orbitirali sa brzinama koje ne bi prelazile hiljaditi dio centimetra za 100 godina i emitovali bi elektromagnetne talase. Gubeći tako energiju čestice će se spiralno približavati jedna drugoj i nakon  $10^{116}$  godina će anihilirati. Jedan atom pozitroniuma će dati  $10^{22}$  fotona. Svi ovi fotoni imaju nezamislivo male energije.

Svakako, svi atomi pozitroniuma ne bi se formirali u isto vrijeme, niti bi doživjeli raspad za isto vrijeme. Nakon tih  $10^{116}$  godina ostalo bi ih dovoljno da njihova ukupna masa-energija bude veća nego ona koju sadrži zračenje. Svemirom bi još uvijek dominirala materija. Tada bi atomi preostalog pozitroniuma bili još veći i samim tim trebali bi mnogo više vremena da anihiliraju. U procesu postupne anihilacije oni bi proizveli i više fotona. Više fotona znači i veću entropiju. Znamo da je entropija mjera nereda u jednom termodinamičkom sistemu (u ovom slučaju je svemir taj sistem), i da raste sve dok sistem ne postigne termičku ravnotežu. Tada je entropija maksimalna ali, u takvom izolovanom sistemu, prestaje svaka dalja razmjena toplote. U našem slučaju entropija može rasti beskonačno, a svemir nikada neće postići toplotnu ravnotežu.

Opisana slika formiranja i anihilacije pozitroniuma pravljena je ne uzimajući u obzir nehomogenost i gustinu materije u svemiru kakve se nalaze recimo crnim jamama. Crne jame mogu se međusobno privlačiti a takode raspasti eksplozijom. U otvorenom modelu svemira gdje se crne jame toliko udaljuju jedna od druge te nemaju mnogo šansi za međusobno privlačenje, njihov kraj je "isparavanje" kakvo predviđaju proračuni Stephena Hawking-a. Za takvo nešto potrebno je nekih  $10^{108}$  godina za crnu jamu masivnijeg tipa - reda  $10^{14}$  sunčevih masa. U kritičnom modelu svemira, kada je gustina jednaka kritičnoj, crne jame će se međusobno prije spajati nego što će "ispariti". Svaka crna jama ima entropiju koja je proporcionalna kvadratu mase crne jame. Ako se dvije crne jame istih masa sjedine, formirajući jednu crnu jamu, entropija rezultirajuće jame je četiri puta veća od jedne od jama koje su je formirale. Tim sjedinjavanjem crnih jama entropija enormno raste. Kada crna jama ispari, tada ta entropija prelazi na emitovano zračenje. Međutim, ako se spajanje crnih jama vrši dovoljno brzo ono je u stanju da spriječi isparavanje, te time veći dio entropija ostaje u crnim jamama.

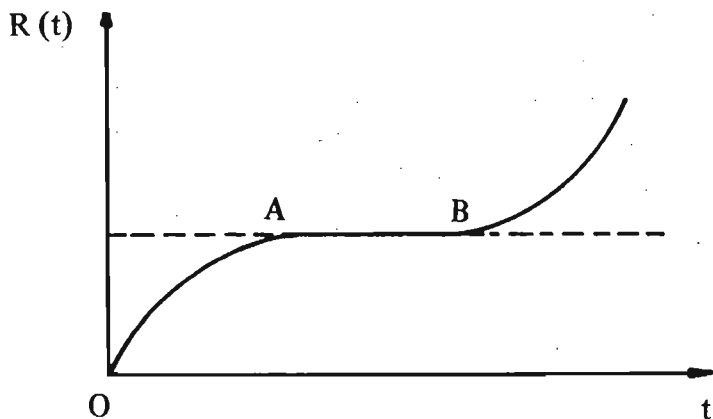
Vidimo da je za sva tri Fridmanova modela svemira karakteristično da počinju od trenutka kada je radius svemira jednak nuli. Tu tačku uslovnice možemo zvati "početak", vodeći računa da se ne radi o nekom istinskom početku svega postojećeg. Interesantno je da bi se glavna crta Fridmanovih modela (njihova nestacionarnost) mogla objasniti i bez opšte teorije relativiteta. Svi efekti

širenja ili skupljanja svemira mogli bi se uklopiti u klasičnu Njutnovu teoriju gravitacije. Uostalom, to i nije toliko iznenadujuće, jer znamo da je Ajnštajnova opšta teorija gravitacije samo uopštila klasičnu Njutnovu teoriju i, sadrži je u sebi kao specijalni slučaj.

U ranijim razmatranjima pominjali smo pretpostavku o homogenosti svemira. Međutim, posmatranja koja su astronomi provodili nisu mogla da dokažu pravilnost ovakvog gledanja. To je navelo mnoge kosmologe da se upitaju da li je za posmatranje svemira kao cjeline dovoljno koristiti samo tri Fridmanova modela u kojima je lambda član jednak nuli.

Kad je Hابل objavio rezultate svojih istraživanja, koja su u stvari značila eksperimentalnu potvrdu teorije o širenju svemira, tada je došlo do izvjesnih promjena u razmišljanjima kosmologa. Sam Ajnštajn izjasnio se protiv uvođenja kosmološke konstante lambda. Interesantno je, međutim, da je mnogo lakše bilo uvesti član lambda nego ga sada izbaciti. Tako je do današnjih dana bilo dosta lutanja od jednog modela do drugog, često su se pojedini astronomi vraćali na shvatanja za koja se mislilo da su prevaziđena.

Ranije smo vidjeli kod razmatranja Ajnštajnovog sferičnog svemira (svijeta) da jednoj određenoj vrijednosti člana lambda odgovara rješenje u kome se privlačne gravitacione sile izjednačavaju sa odbojnim silama koje karakteriše lambda član. Ako je lambda neznatno veće od vrijednosti koju je dao Ajnštajn, tada dolazimo do interesantnog rješenja poznatog kao Lemetrov model svemira. Na slici 4.23 vidi se kako se tu mijenja radius krivine sa vremenom.



Sl.4.23. Grafikon za Lemetrov model svemira.

Iz ovog grafikona vidimo da svemir počinje širenjem koje se postepeno usporava i na dijelu krive A-B radius se, praktično, gotovo ne mijenja. Na tom dijelu svemir bi bio stacionaran u Ajnštajnovom smislu. Nakon toga, radius ponovo počinje da raste i svemir se nastavlja širiti. Nedavno su neki američki astronomi ponovo "izvukli" ovu Lemetrovu ideju.

Nesumnjivo je da jedina moguća potvrda ovih modela svemira može da dode iz astronomskih posmatranja. Time se posebno misli na posmatranja vrlo dalekih objekata kakvi su kvazari. Raspored crvenih pomaka, kod većeg broja posmatranih kvazara, mogao bi nas dovesti do toga da neke od modela smatramo vjerovatnijim od drugih. Bitno je napomenuti da postoji jedan zanimljiv efekat koji se pojavljuje u Lemetrovom modelu (naravno i u Ajnštajnovom, koji je samo jedan stadij u razvoju svemira po Lemetru). To je nešto što bismo mogli nazvati "fokusiranje svjetlosnih zraka". Pošto je u ovom modelu krivina svemira pozitivna, to će svjetlost nekog objekta da pređe (slijedeći geometriju prostora) oko "sfere" svemira na suprotni kraj i da tu formira lik objekata. Usljed raznih lokalnih nehomogenosti u skupljanju materije, može se pojaviti čak nekoliko tih sekundarnih likova. Za sada posmatranjem nije potvrđeno postojanje ovakvih "duhova", ali nema sumnje da bi njihovo otkriće značilo mnogo.

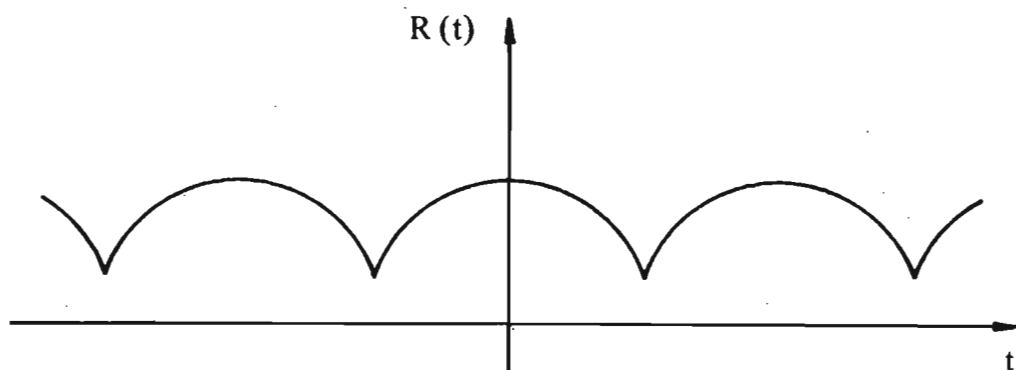
U svim do sada opisanim modelima uvijek imamo neki "početak", tačku koju možemo smatrati rađanjem svemira. To rađanje, odnosno, način na koji se odigrao taj proces (jednom ili bezbroj puta) takode je bilo predmet razmatranja kosmologa. Tako su nastale poznate teorije, kao teorija "velikog praska" i slično. No, sve bi ovo ostalo čista teorija da nije došlo do nekih značajnih astronomskih otkrića posljednjih desetak godina.

Neki kosmolozi su još ranije razradili model tzv. "vrućeg svemira". Po njima, u vrijeme kada je sva materija bila nagomilana u vrlo ograničenom volumenu, njena temperatura je bila ogromna. Sa tom temperaturom povezano je intenzivno elektromagnetno zračenje koje je bilo u skladu sa tom temperaturom. Kada je počelo širenje, temperatura je, jasno, počela opadati, a od prvobitnog plazmastičnog stanja materije počelo je rađanje prvih atoma. Jasno, i temperatura zračenja morala je takode opadati, odnosno, umanjivala se energija fotona - kvanta elektromagnetnih talasa. Teorija je došla do zaključka da bi u današnje vrijeme svemir morao biti ispunjen zračenjem sa temperaturom od 3 do 4 stepena Kelvina. Intenzitet ovakvog zračenja najveći je u oblasti talasnih dužina od 1.5 mm, a zračenje bi bilo moguće naći i u centimetarskom pa i u decimetarskom dijapazonu. Ove talasne dužine pripadaju radio talasima.

1965. godine, sasvim slučajno došlo je do neočekivanog otkrića. Grupa naučnika radila je na novoj, izuzetno osjetljivoj anteni kompanije Bell u SAD. Ubrzo su opažena zračenja na talasnoj dužini od 7.35 cm koja su u početku smatrana za neke smetnje zemaljskog porijekla. Temperatura tog zračenja iznosila je 3° Kelvina. Kasnije zračenje je opaženo i na većim i manjim talasnim opsezima. Preciznija mjerenja su pokazala da se radi o zračenjima koja sa podjednakim intenzitetom dopiru iz svih pravaca, pa prema tome njima je ispunjen čitav svemir. Temperatura tog zračenja iznosi tačno 2.7° K. Ovim je praktično gotovo dokazano da je svemir imao jednu fazu u kojoj je temperatura i gustina materije bila ogromna. No, to je samo jedna nit u moru neriješenih pitanja.

Mnogi noviji pogledi pokušavaju da stvar gledaju uzimajući u obzir kvantne efekte. Naime, u blizini specijalnih stanja u kojima se svemir nalazi kada je u okolini tačke početka, sve čestice su već toliko bliske jedra drugoj da se efekti kvantne teorije ne mogu prenebrgavati. Poznato je da je opšta teorija relativiteta sagrađena bez kvantne teorije, i, da veza, ove dvije fundamentalne slike fizičkog svijeta, još uvijek nije nađena. Pored toga, većina modela polazi od homogene i izotropne slike svemira.

No, šta bi se desilo ako svemir nije takav, što nije nimalo nemoguće. Tada se sve još više komplikuje. Istovremeno moglo bi se postaviti pitanje šta je bilo prije "početka". Po nekima, svemiru je to samo jedan od beskonačno mnogo takvih početaka. Takav ciklični svemir prikazuje grafikon 4.24, a radius krivine svemira nije jednak nuli već je samc vrlo malen. Time se izbjegavaju paradoksi nultog volumena i beskonačne gustine.

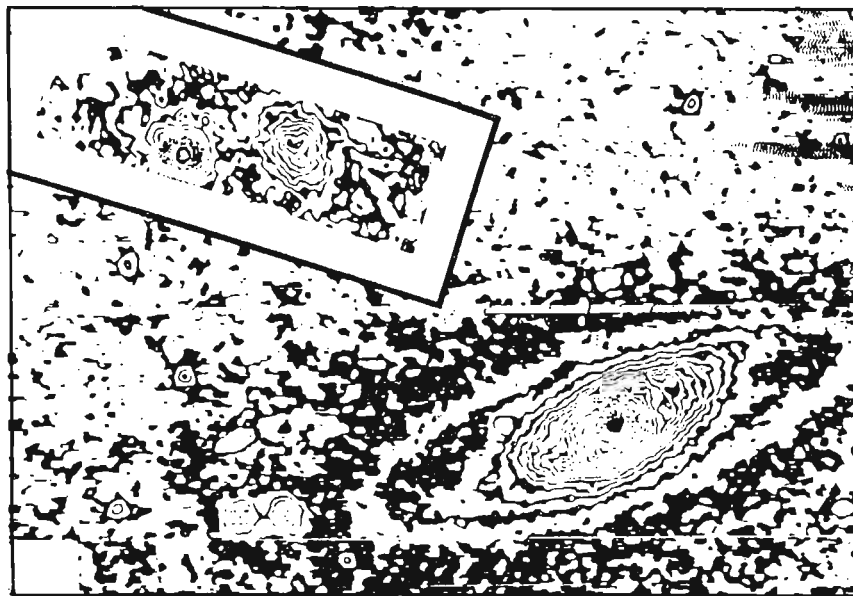


Sl.4.24.

Jedna od bitnih osnova na kojima počiva zgrada kosmologije je toliko pominjani crveni pomak. U njegovo postojanje duži niz godina nije bilo nikakve sumnje. No, posljednjih godina kod nekih astronoma pojavile su se sumnje u to da li crveni pomak mora uvijek da znači da se posmatrani objekat udaljava od nas, ili, mogu po srijedi da budu još neki drugi efekti, ili, nama još nepoznati fizički procesi.

Znamo da je crveni pomak otkriven poslije Hablovih radova sa galaksijama. Otkriće kvazara dovelo je do širenja prostorne i vremenske skale svemira na neslućene razmjere. Postavlja se pitanje šta ako, recimo, možemo pronaći slučajeve da dva objekta koja su dokazano povezani direktno (recimo mlazom materije, ili, nekim poremećajima u strukturi koji ukazuju na međusobno gravitaciono djelovanje) imaju različite crvene pomake. Prema opštoj slici širenja svemira, velike razlike u pomacima ne bi smjele postojati.

Američki astronom Halton Arp već duže vremena prikuplja dokaze u korist svojih sumnji u crveni pomak. Pri tome on se koristi nekim savremenim metodama istraživanja koje omogućavaju ogromno povećanje preciznosti izvjesnih mjerenja. Savremeni kompjuterizovani uređaji u stanju su da za kratko vrijeme izvuku i najmanje tragove neke informacije sa foto ploče snimljene teleskopom. Tako je došlo do usavršavanja metoda fotometrije pravljenjem izofota nekog objekta, tj. pravljenjem linija koje povezuju tačke istog sjaja. Ono što oko ne može da registruje na snimku, posebno vrlo slabe detalje koji se skoro slijevaju sa pozadinom snimka, mašina može. Tehnika izofotometrije ili izodenzitometrije posljednjih godina pružila je mnogo. Koristeći je, Arp je našao tragove međudjelovanja nekih kvazara i galaksija koji imaju posve različite crvene pomake, a poznato je da na udaljenostima koje zauzimaju kvazari galaksije nisu ni opažene. Na slijedećoj fotografiji (sl. 4.25) je dat izodenzitogram oblasti oko spiralne galaksije IC 1746. Lijevo od nje nalazi se kvazar PHL 1226 i jedna pekularna galaksija. Iako se primjećuje da između posljednja dva objekta postoji nešto poput mosta materije. U pravougaonom okviru iznad dat je uvećani dio snimka kvazara i pekularne galaksije. Tu je veza još očitija.



Sl.4.25. Izodenzitogram oblasti oko spiralne galaksije IC 1746.

Arp je našao još nekoliko sličnih primjera. Po njemu to su činjenice koje ukazuju na mogućnost postojanja crvenih pomaka koji nisu uzrokovani širenjem svemira, odnosno, brzinom udaljavanja. Ovakve sumnje u crveni pomak mogu da izazovu lavinu u kako-tako skrpljenoj kosmološkoj slici svijeta. Naravno, isuviše je rano na osnovu nekoliko ovakvih primjera dovesti u sumnju mnogobrojne druge potvrde širenja svemira. No, lako je moguće da,

recimo, kvazari ne moraju imati isključivo kosmološki crveni pomak. U svijetu galaksija postoji, generalno gledano, određena pravilnost u odnosu na crveni pomak, dok kod kvazara već postoje indicacije da koješta nije u skladu sa postojećim stanjem. Naredne godine nose mnoga iznenađenja i kosmologija postaje sve bliža posmatračkoj astronomiji. Čisto teorijska kosmologija nedovoljna je i ona mora da traži potvrde u realnom svijetu.



## 5 . NOVE OBLASTI ASTRONOMIJE

### 5 . 1 RADIO ASTRONOMIJA

Znamo da mnogobrojna nebeska tijela ne emituju isključivo vidljivu svjetlost na koju naša čula reaguju. To je samo dio širokog spektra elektromagnetnih zračenja što od bezbrojnih kapljica materije dopiru do nas. Radiotalasi zauzimaju značajno mjesto u tim mnogobrojnim elektromagnetnim talasima što nas zapljuskuju.

Radio astronomija je mlada nauka i njeno radanje započelo je tek prije nekoliko decenija. Prije nego što se upoznamo sa svim onim što sadrži ova izuzetno važna oblast astronomije, bilo bi korisno reći neke osnovne stvari o radio-talasima i instrumentima koji služe za njihovo registrovanje.

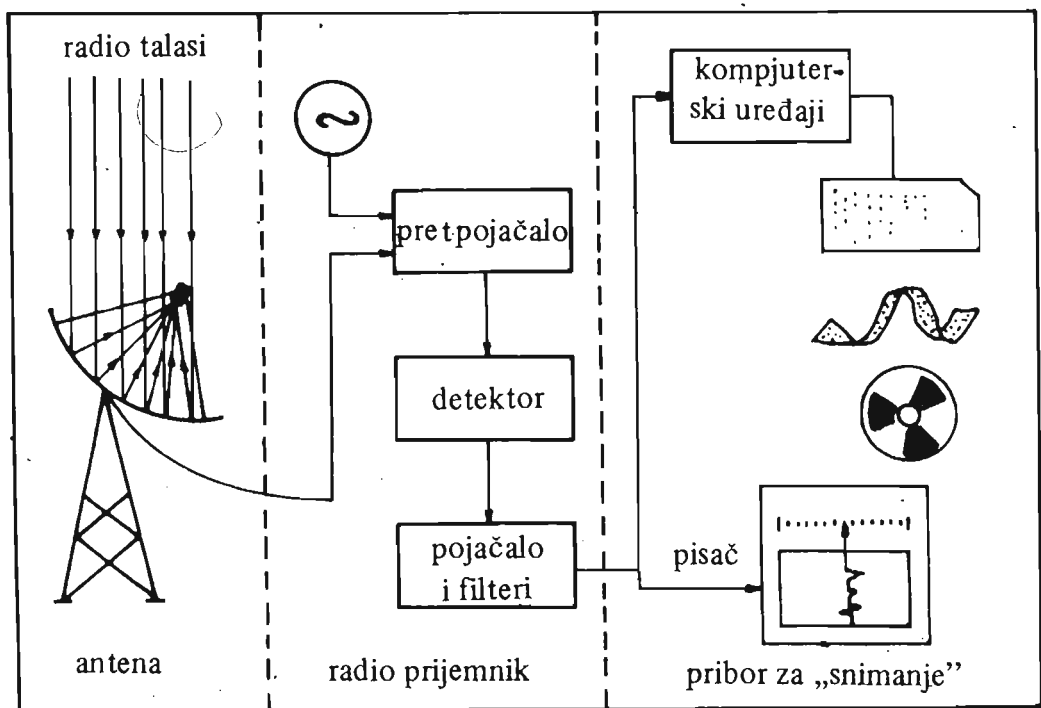
Već smo pomenuli da svjetlost i radio-talasi predstavljaju identičan prirodni fenomen. Samo su talasne dužine ovih manifestacija energije različite. Dok talasne dužine vidljive svjetlosti mjerimo stotimilionitim dijelovima centimetra, dotle, kada se radi o radio-talasima, možemo govoriti o centimetarskim, metarskim, pa i kilometarskim dužinama. Naša planeta je neprekidno okupana brojnim radio-talasima koji dopiru iz svemira. Da bi ih detektovali, radio astronomi moraju koristiti moćne prijemne antene. Principijelno gledano, nema nikakve razlike između jednog radio-teleskopa i običnog radio ili TV aparata. Oba uređaja namijenjena su za prijem radio-talasa, s tom razlikom, što radio-aparatom primamo vještačke izvore - radio stanice. S obzirom da su signali koji dopiru iz svemira vrlo slabi, to je neophodna upotreba džinovskih antena slično kao što za bolji prijem radio aparata ili televizora značajnu ulogu igra kvalitet i veličina antene.

Postoje dvije osnovne (moguće) konstrukcije radio-teleskopa. Oni mogu biti nepomični i sastojati se od velikog broja pojedinačnih antena (sličnih u osnovi TV antenama) koje pokrivaju veliku površinu, kako bi mogle primiti slabe signale koji dopiru iz svemira. Drugi tip konstrukcije radio-teleskopa ide za tim da koristi metalne reflektorske površine koje odbijaju talase i šalju ih ka jednoj tački, gdje je smještena manja antena. Pri tome, postoje

sistemi od velikog broja pojedinačnih ravnih metalnih ogledala koja su raspoređena tako, da predstavljaju prsten "izrezan" iz paraboloida. Sovjetski radio-teleskop RATAN-600 primjer je takvog uređaja. Sastoji se od 900 metalnih ploča dimenzija 2 x 7.4 metara koje su raspoređene tako da grade parabolični segment prečnika 600 metara. Za američki radio-teleskop, u Arecibu, na ostrvu Puerto Rico, iskorišten je krater ugašenog vulkana. Na njegovom dnu postavljene su metalne ploče i formirana je paraboloidna "zdjela". Mala antena koja je 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 se mogu pomjerati i pratiti izvor radio-talasa na nebu. U fokusu je smještena antena koja registruje radio-talase fokusirane ogledalom radio-teleskopa.

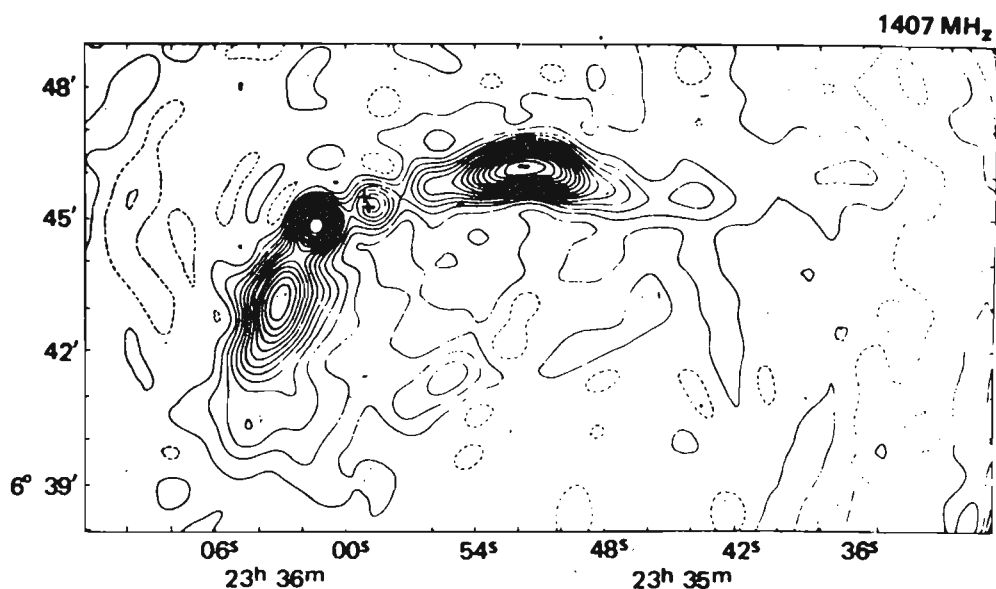
Jasno je da radio astronomi ne slušaju, bukvalno govoreći, zvukove što dopiru iz svemira. Svi ti signali koji se primaju registruju se putem uređaja koji ih pretvaraju u zapise, najčešće na trakama ili kartama pisaača. Uz pomoć kompjutera kasnije se vrši obrada materijala koji omogućava izvlačenje određenih zaključaka o prirodi izvora, jačini signala, itd. Shematski prikazano, rad jednog radio-teleskopa odvija se na sljedeći način (sl.5.1):



Sl.5.1. Shema radio-teleskopa.

Zakrivljena površina radio-teleskopa prima talase iz prostora i šalje ih ka anteni u fokusu. Antena nije ništa drugo već uređaj kroz koji protiče struja izazvana upadnim radio zračenjem. Ta struja teče kablom ka laboratoriji u kojoj su smješteni ostali uređaji i radio astronomi. Prvi sklop od kojeg struja dolazi možemo zvati radio-prijemnik. Pošto su signali vrlo slabi, neophodno je pojačati ih, najprije, jednim pretpojačalom, a, nakon detekcije vrši se ponovno pojačavanje i "filtriranje" signala. Treći sklop u radio-teleskopu predstavlja radio pribor za "snimanje". Tu se mogu koristiti različiti uređaji. Tako se signal može dovesti na pisac koji će vršiti registriranje pisaljkom na papirnoj karti. Danas se široko primjenjuje kompjuterska tehnika u okviru koje se električni signali pretvaraju u brojeve, a pri tome se mogu koristiti izbušene kartice, papirnate trake ili magnetne trake, sve u zavisnosti od tipa kompjutera kojim se kasnije vrši obrada.

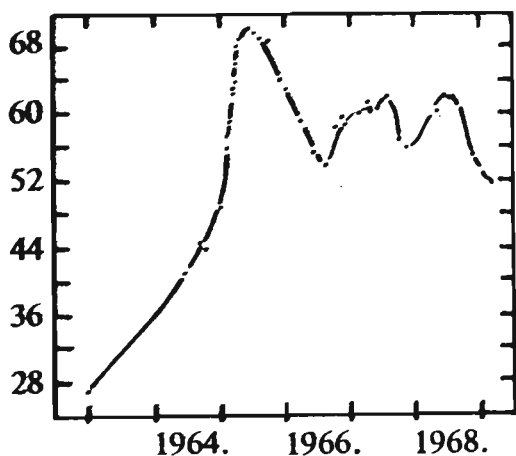
Normalno, mjerenja koja se mogu obaviti pomoću radio-teleskopa ograničena su na nekoliko vrsta. Prvo što se može mjeriti je promjena jačine signala sa promjenom položaja radio-teleskopa u odnosu na neku oblast neba. Obično, radio-izvori imaju velike razmjere na nebu i, idući teleskopom, od tačke do tačke na toj oblasti, moguće je napraviti konturnu kartu izvora. Konturna karta prikazuje se u koordinatnom sistemu u kome se na vertikalnu osu nanese deklinacija, a na horizontalnu rektascenzija tačaka istraživane zone. Na lici 5.2 data je jedna konturna mapa radio izvora 3C 465.



Sl.5.2. Radio-konturna mapa radio izvora 3C 465, dobivena Cambridge radio-teleskopom na frekvenciji od 1407 MHz (talasna dužina 21 cm). Dva križića označavaju položaj radio galaksije NGC 7720. (Mullard radio astronomska opservatorija).

Drugi koristan podatak je promjena intenziteta zračenja u odnosu na talasnu dužinu. Tako neki radio-izvor može biti "sjajniji" u većim talasnim dužinama, nego u kraćim. Radio-teleskopom možemo mjeriti i polarizaciju primljenih radio-talasa. Najlakše je ovo razumjeti ako kao analogiju uzmemo TV antenu. Znamo, da su sve one horizontalno postavljene zbog činjenice da signali koje one primaju pokazuju u velikoj mjeri horizontalnu polarizaciju. Ako bismo TV antenu zarotirali tako da stoji vertikalno, tada bi primljeni signal bio vrlo slab. Ovo nije ništa drugo već mjerenje stepena polarizacije radio talasa.

Promjena intenziteta nekog radio-izvora sa vremenom bio bi četvrti bitan parametar koji možemo mjeriti. Primjer takvih izvora su, recimo, pulsari, a i većina drugih objekata radio-neba pokazuje različite varijacije tokom vremena. Na grafiku 5.3 je prikazana promjena intenziteta radio-izvora (kvazara) 3C 273 za period od 5 godina.

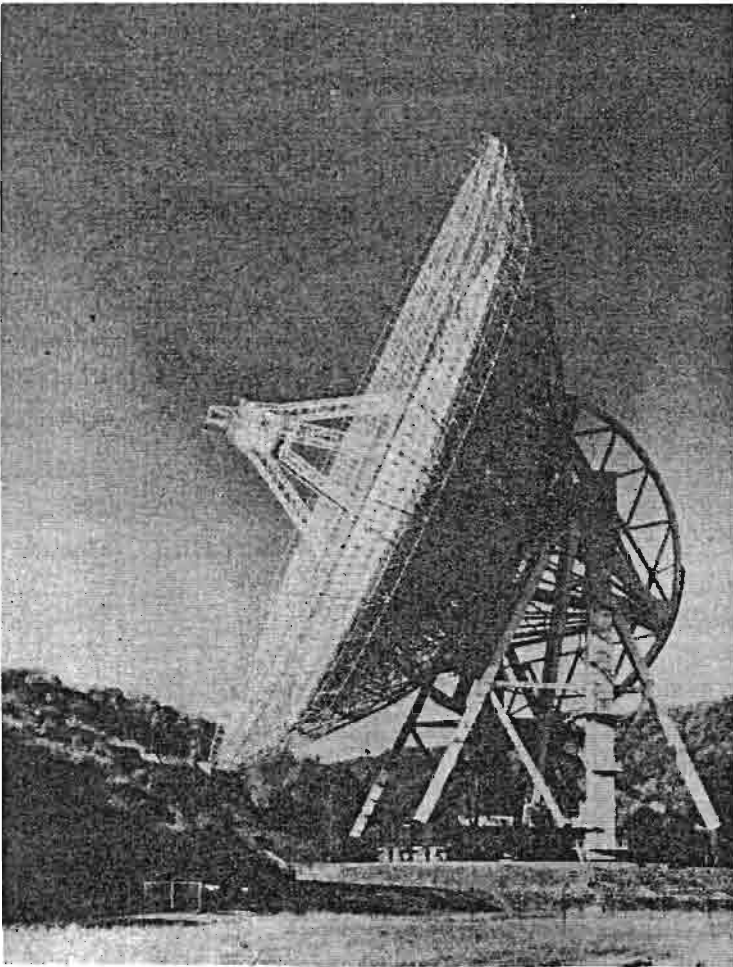


Sl.5.3. Promjena intenziteta kvazara 3C 273 u periodu od 5 godina.

Danas u svijetu postoji veliki broj radio-teleskopa. Pored pomenutih nepokretnih, značajni su i pokretni radio-teleskopi u Jodrell Bank-u (Vel. Britanija) sa prečnikom zdjele od 76 metara, te najveći pokretni instrument sa prečnikom od 100 m (sl. 5.4) u Effelsberg-u kod Bonn-a (Zap. Njemačka). Još od prvih početaka razvoja radio astronomije, slaba moć razdvajanja bila je glavni problem kod radio-teleskopa. To je posebno otežavalo identifikaciju pojedinih izvora sa nekim optički poznatim objektima. Pravljenje većih teleskopa, od onog prečnika 100 metara, (kad je riječ o pokretnim uređajima), predstavlja takav

inženjerski i tehnološki problem da se to, vjerovatno, neće praviti u nekoj bližoj budućnosti. Zbog toga su radio astronomi tražili druge metode do povećaju preciznost svojih uređaja.

Jedan od prvih uspješnih načina da se poveća preciznost pojedinačnih radio-teleskopa, bila je, tzv. sinteza na bazi rotacije Zemlje (Earth-rotation synthesis) koju je razradio britanski astronom Martin Ryle, iz Cambridgea-a. Za ovo se koriste dva manja radio-teleskopa, moćan kompjuter i činjenica da Zemlja rotira oko svoje ose. Gledano iz pravca nekog radio-izvora, ukoliko su dva radio-teleskopa postavljena na liniji istok-zapad tada će jedan od njih, u odnosu na drugi, da putuje praveći polukrug za 12 časova. Linearnim pomjeranjem radio-teleskopa dobija se kompletna "polovina" jedne velike sintetizovane "zdjele" radio-teleskopa. Ostala polovina kompjuterski



Sl.5.4. Bonski-radio teleskop. Prečnik antene iznosi 100 metara.

se dodaje i konačni rezultat, koji je Ryle postigao 1972. godine, bio je efektivni radio-teleskop sa zdjelom prečnika 5 kilometara. On se sastojao od 8 pojedinačnih radio-teleskopa. Holandski astronomi napravili su Westerbork Syntesis Radio Telescope, koji se sastoji od 14 "zdjela" koje se sintetišu u zdjelu prečnika 3 kilometra.

Ovaj način posmatranja ograničen je, uglavnom, na radio izvore u zoni oko sjevernog nebeskog pola ili južnog i, idući dalje greška koja se pojavljuje suviše je velika. Rješenje je bilo u postavljanju još više radio-teleskopa i to ne samo u smjeru E-W, nego i N-S. Najveći takav sistem je američki VLA (Very Large Array). Smješten je u pustinji blizu Socorro-a (Novi Meksiko). VLA sastoji se od 27 zdjela, od kojih svaka ima prečnik 25 metara. One se mogu pomicati po šinama koje imaju oblik slova Y, i cijeli niz je ekvivalentan jednom radio-teleskopu prečnika zdjele od 27 kilometara.

Kada se posmatranja vrše, recimo, na talasima od 1.3 cm, ovaj sistem može da razdvoji detalje prečnika 0.13 ugacnih sekundi što je, gotovo, hiljadu puta bolje od ljudskog oka i nekih 10 puta bolje od najboljeg teleskopa postavljenog na Zemlji. Postoje i drugi načini povezivanja pojedinačnih

radio-teleskopa i to, radio putem. Tako je u Vel. Britaniji uspostavljen sistem nazvan MERLIN (od Multi-Element Radio-Linked) gdje se dobija efektivni prečnik sintetizovanog radio-teleskopa od 133 kilometra. Rezolucija na talasnoj dužini od 1.3 cm, u ovom slučaju iznosi 0.02 ugaone sekunde. U praksi, na dužim talasima ovaj sistem ima istu preciznost kao VLA.

Posljednja novost je korištenje čitave Zemlje kao jednog sintetičkog radio-teleskopa. Koriste se, međusobno, veoma udaljene radio-opervatorije, a njihovi teleskopi se usmjeravaju u isti radio-izvor. Pojedinačna mjerenja se kompjuterski spajaju, a najvažnije je korištenje preciznih atomskih časovnika. Ovakva posmatranja poznata su kao VLBI (Very Long Baseline Interferometry). Ovi sintetizirajući sistemi imaju, naravno, svoja ograničenja ali za određena istraživanja su od izuzetnog značaja.

### 5.1.1 Galaktički radio izvori

Gotovo sva svemirska tijela, u većoj ili manjoj mjeri, zrače radio-talase. Sunce, nama najbliža zvijezda, prvi je objekat na koji možemo obratiti pažnju. Sunčeva korona koju možemo vidjeti samo za vrijeme totalnih pomračenja Sunca nije nevidljiva za radio astronome. Ovaj džinovski oblak elektrona i drugih čestica sa temperaturom od oko milion stepeni Kelvina odaje snažno radio zračenje. Za razliku od uobičajenog zračenja Sunca (tzv. zračenje "mirnog" Sunca) u pojedinim periodima, posebno u doba maksimuma Sunčevih pjega, moguće je pratiti vrlo intenzivne radio bljeskove. Poznata je iz optičke astronomije pojava bljeskova na Suncu, kada pojedini mali dijelovi njegove površine postaju intenzivno sjajni. Oni su izazvani razornom eksplozijom a oblaci izbačenih čestica prodiru u koronu i uzrokuju pojavu radio zračenja. Sunčeve pjege takođe, mogu, da budu uzročnici iznenadnih radio šumova.

Od ostalih članova Sunčevog sistema vrlo zanimljiv radio izvor je planeta Jupiter. On zrači u centimetarskim talasima, a povremeno, na fonu normalnog zračenja, dolazi do pojave iznenadnih radio bljeskova.

Posljednjih godina, značajne radove na mjerenju razdaljina u našem planetarnom sistemu, kao i sticanje prvih podataka o površini Merkura i Venere, prije nego li su se svemirske stanice uputile ka drugim planetama, omogućila je tzv. raderska-astronomija. Metoda je jednostavna. Velikim radio-teleskopom šalje se radio signal i ponovo hvata nakon odbijanja. Znajući vrijeme za koje talas ode i vrati se, nije problem izračunati udaljenost do neke planete. Preciznija mjerenja omogućavaju da se nazru osnovne konture reljefa, posebno većih formacija.

Radarskim putem utvrđeno je, na osnovu Doplerovog efekta, da je smjer obrtanja Venere suprotan od smjera u kome se vrti ostale planete. To se, zbog puzrate neprovidnosti Venerine atmosfere, nije moglo ustanoviti vizuelnim putem.

Svakako da su za astronomiju, a posebno za astrofiziku, daleko značajniji radio-izvori koji leže van granica Sunčeve planetske porodice. Prije nego što opišemo neke od ovakvih izvora, bilo bi zanimljivo osvrnuti se na osnovne načine na koje radio-talasi nastaju. Tzv. termalna emisija je najčešći izvor radio-talasa. Ovdje se radio-talasi pojavljuju usljed sudara elektrona koji se usljed temperature kreću u svakom tijelu manjom ili većom brzinom. Zato i sva, naizgled, hladna tijela emituju radio zračenje. Radio-teleskope, stoga, možemo smatrati nekom vrstom termometra, jer, mjereći radio zračenje uzrokovano termalnom emisijom, mi u stvari mjerimo temperaturu takvih tijela. Potpuno drugačiju prirodu ima netoplotno ili sinhrotrono zračenje. Ovakvo zračenje nastaje kretanjem brzih, relativističkih elektrona (elektroni koji se kreću brzinama bliskim brzini svjetlosti) u jakim magnetnim poljima.

Mliječni put, čije milijarde zvijezda obrazuju sjajnu traku preko neba prekrasno vidljivu u ljetnim i zimskim mjesecima, sadrži obilje različitih radio izvora. Konačno, radio astronomija je i počela otkrićem opšteg šuma središta naše galaksije. Najveći doprinos opštem (pozadinskom) radio zračenju našeg zvjezdanog sistema daju džinovski oblaci međuzvjezdanog vodonika. Kada se ovakvi oblaci nalaze dalje od zvijezda viših temperatura, tada je njihova vlastita temperatura bliska apsolutnoj nuli. Atomi su u neutralnom stanju, tj, svaki se sastoji od protona kao jezgre i elektrona koji rotira oko njega. (Ova analogija je vrlo gruba, ali nam u ovom slučaju može poslužiti). I elektron i proton posjeduju vlastitu rotaciju koju razmatramo kao spin. Elektron može spontano i iznenada da promjeni smjer rotacije, odnosno, da mu spin u odnosu na spin protona postane suprotan. To bi, u makroskopskim razmjerama, bilo analogno slučaju kada bi naša Zemlja iznenada počela da se kreće na suprotnu stranu (tj. od istoka ka zapadu). Za usamljeni atom tako nešto može se dogoditi jednom u 11 miliona godina. Međutim, ako imamo dovoljan broj atoma (to je slučaj sa međuzvjezdanim oblacima) tada se promjena spina može desiti svakih četiri stotine godina. Ova promjena, zavisno od veličine, može dovesti do razlike energije atoma. Pod povoljnim uslovima, na ovaj način može doći do emitovanja radio-talasa sa dužinom 21.2 cm. Obzirom na ogroman broj atoma u oblaku u svakom trenutku, dovoljan broj njih će da obrne spin i to mnoštvo daće dovoljno jako radio-zračenje.

U zavisnosti od smjera, u kome su proton i elektron rotirali oko svojih osa, u slučaju promjene spina mogu se desiti ili emisija ili apsorpcija radio signala.

Posmatranja međuzvjezdanog neutralnog vodonika pomoću radio-teleskopa mogu da daju izuzetno korisne podatke, kao što je totalni broj atoma u oblaku, temperatura, udaljenost i dimenzije. Kretanje masa vodonika može se pratiti zahvaljujući Doplerovom efektu, pa se na ovaj način mogu dobiti odlične predstave o rotaciji Mliječnog puta na raznim udaljenostima od središta. Takode se može istraživati raspored spiralnih krakova i dobiti opšta



slika izgleda naše galaksije kao da je ne posmatramo iz nje same, već iz tačke daleko od nje.

Među najjače radio-izvore u Mliječnom putu spadaju ostaci eksplozija supernovih zvijezda. Pored već pomenute Krab magline, postoje i drugi slični izvori. 1572. godine Johanes Kepler je opisao takvu eksploziju supernove, a 1604. godine Tiho de Brahe, posljednji veliki posmatrač predteleskopskog doba, prati i drugu, posljednju pojavu eksplozije zvijezde u našoj galaksiji za posljednjih hiljadu godina. Naravno, eventualne eksplozije, iza oblaka tamne međuzvezdane materije, nije bilo moguće posmatrati. Ostatak eksplozije u Kasiopeji, izvor nazvan "Kasiopeja A" je jedan od najjačih izvora na radio nebu. Udaljen je 10 000 svjetlosnih godina od Sunca.

Posljednjih godina radio astronomi počeli su da otkrivaju i mnogobrojna jedinjenja u svemirskom prostoru. Posebno su značajna otkrića organskih molekula. Radio astronomi najprije su otkrili molekule hidroksila (OH) a onda su uslijedila voda, amonijak, formaldehid, cijanogen, ugljen monoksid, cijanovodonik, cijanaceten, metil alkohol, ugljen monosulfid, itd. Sva ova jedinjenja zrače određene linije u radio-spektru. Sa stanovišta razmatranja porijekla života i njegove rasprostranjenosti u svemiru, otkriće ovih jedinjenja ima neprocjenjivu važnost.

### 5.1.2 Vangalaktički radio izvori

Svi radio izvori koji su do sada posmatrani nemaju uvijek, na djeliću neba koji zauzimaju, neki optički primjetan objekat. Krab maglinu, npr. nije bilo naročito teško identifikovati. Uopšte, optičku identifikaciju radio-izvora otežava činjenica da su radio-teleskopi dosta neprecizni. Koordinate nekog izvora mogu se dobiti samo sa približnom tačnošću. Obično je to neki kvadratić na nebeskoj sferi koji može da sadrži više stotina "sumnjivih" objekata. Tako, u prvi mah, nemoguće je jednostavnim načinima zaključiti kome, od tih objekata, pripada otkriveno radio zračenje. Kada se radi o vangalaktičkim objektima, onda, našavši u takvoj zoni više stotina galaksija, kako doći do odgovora. Stvari se nekada mogu veoma zakomplikovati, kao što ćemo vidjeti kasnije, kada budemo govorili o kvazarima.

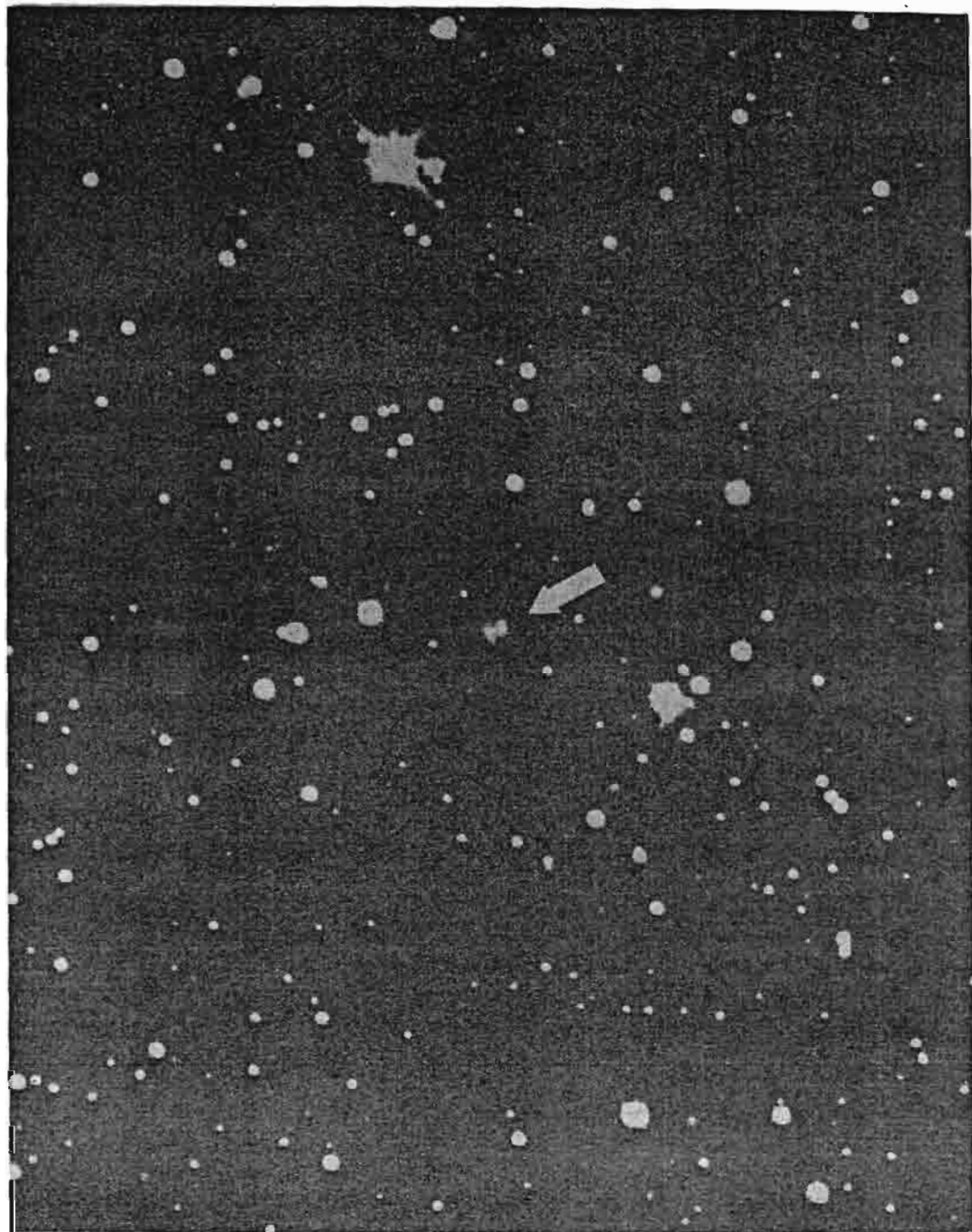
Da bi povećali preciznost radio-teleskopa, astronomi su pronašli nekoliko metoda koje mogu izvanredno da pomognu. Kao pomoćni metod u nekim slučajevima primjenljivo je prekrivanje izvora Mjesecom. Kada se on nađe ispred izvora onda, poput nekog štita, zakloni zračenje i signal oslabi. Prateći promjenu intenziteta zračenja ovako izazvanu, i, poznavajući tačno položaj svakog Mjesečevog dijela na nebu, astronomima nije bio problem da odrede položaj izvora sa dobrom tačnošću. Međutim, broj izvora koje Mjesec može prekriti nije velik, pa zato ta metoda nema univerzalnu primjenljivost. Interferometrijski sistem ima značajne prednosti. Princip rada ovog sistema sastoji se u tome da se dva ili više radio-teleskopa koji su udaljeni jedni od drugih



Sl.5.5. Centaurus A ili NGC 5128 je galaksija u sazviježđu Centaurusa. Ovdje je dat izgled u optičkom dijelu spektra i, preko njega ucrtan izgled u radio području. Posmatranja satelitima "Uhuru" i "Einstein" pokazala su da je Centaurus A i izuzetno snažan rentgenski izvor.

priključe na jedan prijemnik. Radio-talasi će tako biti podložni interferenciji, a, na osnovu toga je moguće dobiti tačne koordinate izvora. Preciznost interferometara raste proporcionalno rastu rastojanja između antena.

Među vangalaktičkim izvorima posebno mjesto zauzima "Labud A". 1951. godine, interferometarskom metodom je utvrđen njegov približan položaj na nebu. Podaci su bili poslani poznatom američkom Walteru Baade-u. Pomoću Palomarskog teleskopa prečnika 5 metara on je snimio naznačenu zonu neba. Među dosta galaksija na snimku, pažnju je, odmah, privukla jedna dosta neobičnog izgleda. Ličila je, u stvari, na dvije galaksije koje su se sudarile (Sl.5.6).



Sl.5.6 Radio izvor Labud A.  
(Fotografija Lick opservatorije).

Prvobitno objašnjenje prirode ovog radio izvora bilo je da se pri sudaru dvaju galaksija u stvari, sudaraju ogromni oblaci međuzvezdane materije. Zvijezde, zbog ogromnih i nezamislivih praznina koje ih razdvajaju, praktično

prolaze jedne pored drugih, sa, eventualno, svega ponekim sudarom. Dotle sudaranje ogromnih masa difuzne materije proizvodi radio zračenje.

Ovakvo objašnjenje nije sve zadovoljilo. Ambarcumijan i drugi pretpostavljaju da se radi o nekoj vrsti eksplozije čitave galaksije, koja se pri tome cijepa na dijelove. Kasnija preciznija radio posmatranja pokazala su da je struktura izvora takva da se, u stvari, na tom mjestu nalaze dva radio-izvora simetrično raspoređena u odnosu na vidljivi objekat. Uopšte, ova dvostrukost se pokazala veoma raširenom kod raznovrsnih vangalaktičkih radio izvora.

U svijetu galaksija otkriveni su brojni primjerci karakteristični po izraženom radio zračenju. Normalne galaksije u prosjeku imaju slabo zračenje koje se može registrovati samo kod onih najbližih. Radio galaksija "Virgo A" (M 87) je eliptična galaksija koja ulazi u sastav poznatog skupa galaksija u Djevici. Udaljena je 33 miliona svjetlosnih godina. Na specijalno izrađenim snimcima ove galaksije opaža se cilindrični mlaz materije koji je, očigledno, nekom vrstom eksplozije, izbačen iz središnjih zona. Taj mlaz ima polarizovanu svjetlost. Sastoji se od više pojedinačnih zgušnjavanja i pored radio-talasa zrači i rentgenske zrake.

Relativno bliska galaksija M 82 karakteristična je po nekoj vrsti džinovske eksplozije koja se desila u njenom jedru. Ogromne mase vodonika "bježe" velikim brzinama iz centra. Ovo se može opaziti i na fotografijama načinjenim u crvenoj svjetlosti vodonikove linije H alfa. Mnogobrojna vlakna svjedoče o grandioznosti procesa koji se tu zbio i dalje odvija pred našim očima.

### 5.1.3 Kvazari

Kvazari su potpuno nova vrsta svemirskih objekata, a otkriveni su zahvaljujući radio astronomiji. Naime, jedan dio radio-izvora početkom šezdesetih godina nije se mogao identifikovati sa nekim optički vidljivim tijelom. Snimci oblasti izvjesnog broja tačkastih radio-izvora (misli se na izvore malih razmjera) nisu, izuzev zvijezda i sasvim normalnih galaksija, pokazivali ništa drugo čemu bi se mogao pripisati uzrok radio zračenja. Naravno, može se uvijek pretpostaviti da neka od zvijezda iz te zone zrači snažne radio-talase. Iako mi možemo detektovati Sunce u radio spektru, ipak je zračenje zvijezda tako slabo da već na udaljenosti najbliže zvijezde mi ne možemo da registrujemo ništa. Istovremeno, interferometarska metoda je za neke diskretne izvore dala položaje u neposrednoj blizini tačkastih zvjezdolikih objekata.

U toku 1961. i 1962. godine, posmatranje oblasti radio-izvora 3C 273 pokazala su da iz zvjezdolikog objekta, čije su se koordinate slagale sa koordinatama radio-izvora, izlazi neka vrsta tankog mlaza materije, sličnog onome koga smo opisali kod galaksije M 87. Zvijezda sa mlazom materije? To je izgledalo samo po sebi neobično, jer do tada ni jedna jedina zvijezda nije registrovana sa takvim "dodatkom". Slučaj kada je Mjesec prešao preko ovog

izvora iskorišten je, i dobijen je podatak da je izvor dvostruk, sa komponentama koje su na rastojanju 20 ugaonih sekundi jedna od druge. Ovim je ujedno povećana tačnost položaja izvora.

Spektralna snimanja ovog i nekoliko drugih tačkastih izvora pokazala su da se nešto neobično zbiva sa tim "zvijezdama". Njihovi spektri zadržali su široke emisione spektre kakve zvijezde po pravilu ne posjeduju, izuzev neke specijalne vrste pod određenim fizičkim uslovima. Poznati američki astronom Alan Sandage je tako snimio spektar zvijezde koja je stajala na mjestu izvora 3C 48. Osnovni problem je bio što nije bilo moguće identifikovati njen spektar, tj., u njemu nije pronađena nijedna poznata spektralna linija. Istovremeno je Maarten Schmidt, koristeći podatke o položaju 3C 273 koje je dala opservatorija Parks, snimio spektar. I u ovom slučaju je bio potpuno nejasan. Schmidt je pravilno pretpostavio da je, možda, crveni pomak uzrok neprepoznatljivosti spektralnih linija. Pretpostavka je bila izuzetno pravilna, jer je on odmah uspio identifikovati standardnu seriju vodonikovih linija sa crvenim pomakom  $z = 0.158$ . Inače, broj  $z$  definiše se kao razlika talasne dužine u normalnom stanju i talasne dužine nastale crvenim pomakom, podjeljene sa talasnom dužinom u normalnom stanju. Simbolički se to obično predstavlja

$$\text{razlikom } \frac{\delta\lambda}{\lambda}.$$

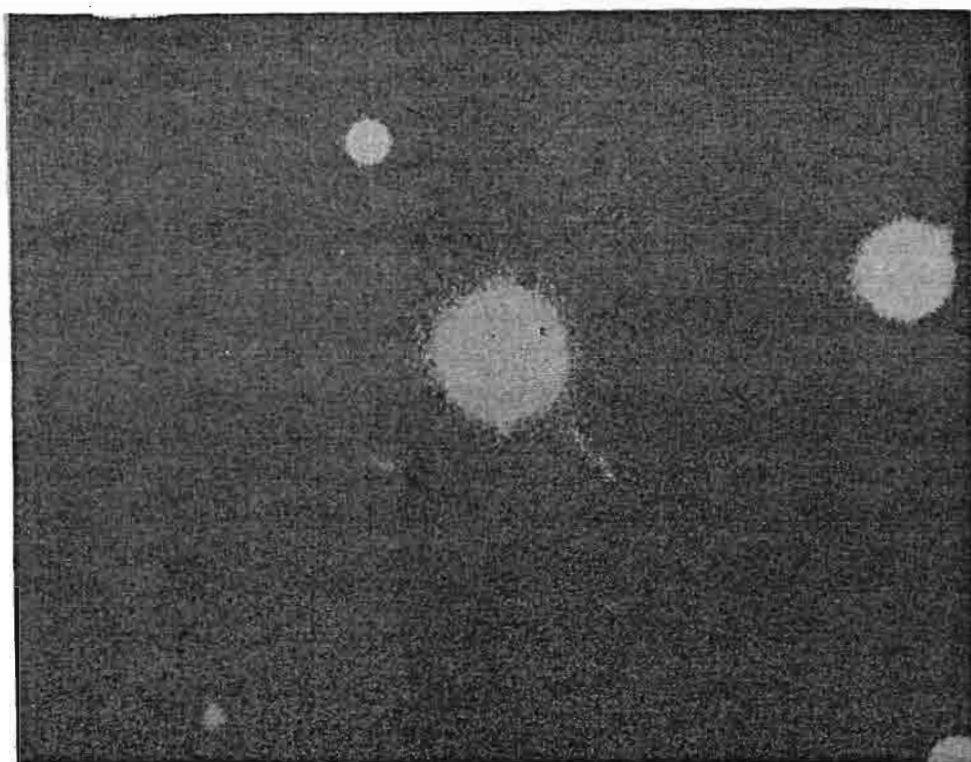
Pošto je ova relacija dobijena iz Doplerovog efekta, to, na osnovu veličine pomjeranja, možemo mjeriti brzinu udaljavanja. U stvari,  $z$  se može pisati i u obliku:  $z = v/c$  gdje je  $v$  brzina udaljavanja, a  $c$  brzina svjetlosti. Povezavši ovo sa gornjom relacijom, lako, iz poznavanja  $\delta\lambda$ ,  $\lambda$  i  $c$ , možemo naći brzinu  $v$ .

U slučaju većih pomaka koji su kasnije pronađeni kod raznih, nazovimo ih sada njihovim pravim imenom, kvazara, pomenuta relacija za veličinu pomjeranja nije se mogla koristiti već je bilo pogodnije da se umjesto  $z$  uzme izraz  $1+z$ . Takođe, velike brzine udaljavanja nisu više mogle biti tretirane klasičnim izrazom za Doplerov efekat, već se morao upotrijebiti relativistički, pa imamo:

$$1 + z = \sqrt{\frac{c+v}{c-v}}$$

Pomnija fotoelektrična posmatranja prvih otkrivenih kvazara ukazala su da postoje promjene sjaja, pa prvobitni zaključak, izveden na osnovu toga, govorio je da oni ne bi mogli biti naročito daleko, niti imati veće dimenzije. Jer, nijedan fizički proces koji bi uzrokovao mjenjanje sjaja ne može se prostirati brzinom većom od one kojom se kreće svjetlost. Pa, pošto je, recimo, 3C 48 mijenjao sjaj u roku od nekoliko dana, to je zaključak bio ispravan bar u pogledu dimenzija izvora. Međutim, prvobitna pretpostavka o

galaktičkom položaju kvazara odmah je odbačena čim su dobijeni podaci o ogromnim crvenim pomacima koji su nadmašivali sve one koje imaju galaksije učestvujući u opštem širenju svemira. Pokazalo se da kvazar 3C 273 "bježi" brzinom od 48 000 km/s, a svoje moćno zračenje šalje sa udaljenosti od 2 milijarde svjetlosnih godina. Ovaj objekat je bio vrlo važan jer je najsjaj-niji od svih poznatih kvazara, i, prividna veličina mu iznosi oko  $13^m$ . Zbog toga je on prisutan na mnogobrojnim fotografskim pločama u kolekcijama



Sl.5.7. Fotografija kvazara 3C 273.  
(Fotografija Mt. Palomar opservatorije).

velikih opservatorija. Tako je, npr. na osnovu kolekcija Harvardske i Pulkovske opservatorije bilo moguće pratiti njegov sjaj za period od oko 80 godina. Ustanovljeno je da mu se sjaj mijenja ne sasvim pravilno. Na osnovu izučavanja promjene sjaja, moglo se zaključiti da dimenzije ovog kvazara, a i većine drugih, ne bi smjele biti veće od jedne svjetlosne godine.

1964. godine Ryle i Sandage su razradili vlastitu metodu za otkrivanje novih kvazara. Već smo pomenuli da njihovo zračenje ima maksimum u plavom i ljubičastom dijelu spektra. Uporedna snimanja kroz filtere koji propuštaju plavi i vidljivi dio spektra omogućavaju da se na nekoj oblasti neba brzo



uoče svi objekti, čiji maksimum zračenja pripada kraćim talasnim dužinama. Tako su otkriveni "plavi zvjezdani objekti", BSO (od engl. Blue Stellar Objects). To su, takode, zvjezdoliki plavi objekti, ali bez izraženog radio zračenja. Danas se misli da se i u tom slučaju takode radi o kvazarima, samo što im je radio-emisija slabija od kvazarske. Te razlike u jačini radio zračenja nisu veće od 100 puta, a znamo da se u svijetu galaskija susreću slučajevi kada je takva razlika reda 100 000 puta. Prema ovome ranije pretpostavke da svi kvazari moraju imati približno jednako radio zračenje nisu osnovane.

1966. godine u spektrima nekih kvazara opažene su apsorpcione linije. Njihovo prisustvo navodi nas na pretpostavku da bi takvi kvazari morali biti okruženi nekom vrstom atmosfere u kojoj se apsorbuju pojedine talasne dužine. Novija posmatranja potvrdila su ovu pretpostavku.

Od otkrića kvazara javljale su se i različite hipoteze o procesima koji proizvode tako ogromnu energiju. Savremena saznanja dovela su do toga da je najvjerojatniji izvor energije masivna centralna crna jama. (Opširnije o crnim jamama vidi dio 5.6). Po ovoj teoriji kvazari su, manje-više, obične galaksije u čijem se jedru formirala masivna crna jama. Međuzvjezdani gas koji postoji u galaksijama, i koga zvijezde izbacuju tokom svoje evolucije, pada ka crnoj jami. Oko nje se formira akrecioni disk u kome se materija spiralno vrti oko centra. Padajući, gas se zagrijava i dostiže visoke temperature, zračeći u svim dijelovima spektra. Obzirom da je gas veoma vruć, on je i jonizovan, te se javlja snažno magnetno polje. U takvoj vreloj struji gasa neke čestice dostižu ogromne energije, i bježe dalje od crne jame i akrecionog diska. Taj mlaz super brzih čestica prostire se samo tamo gdje može tj. u pravcu polova magnetnog polja oko crne jame. Padajući na crnu jamu materija se zagrijava i do više milijardi stepeni, tako da naelektrisane čestice koje se u dva suprotno usmjerena mlaza udaljavaju od crne jame, dostižu brzine bliske brzini svjetlosti. Prikaz ove pojave vidljiv je na slici 5.8.

Znači, gravitacija je ono što pogoni jedan kvazar. Tačnije, izvor energije je gravitaciona energija oslobođena padanjem materije na super masivnu crnu jamu. Ovakvo objašnjenje lakše se uklapa u našu sliku svemira, jer sada kvazari nisu nešto posve različito od drugih objekata. Oni su samo ekstremni oblik nečega sa čim se astronomi sreću u svojim istraživanjima.

Opisana slika tipičnog kvazara potvrđuje se i posmatranjima. Već pominjani kvazar 3C 273 posjeduje jedan mlaz materije. Ovaj mlaz dug je oko 20 ugaonih sekundi, što prema usvojenoj udaljenosti odgovara dužini od više prečnika Mliječnog puta. Oko ovog kvazara novim tehnikama je otkrivena "izmaglica" koja ukazuje da, ovaj najčuveniji od svih kvazara leži unutar jedne eliptične galaksije. Otkriće blazara, objekata koji bi predstavljali kariku između običnih galaksija i kvazara, takode potvrđuje ranije pretpostavke. Naime, objekti poznati kao BL Lacertae su galaksije sa sjajnim jedrima koji emituju snažno radio i infracrveno zračenje. Kod bližih objekata ovog tipa moguće je opaziti pojedinačne zvijezde. Njihovi crveni pomaci su isti kao kod



blazara u središtu. Kada se sve to uzme u obzir onda je najlogičnije tvrditi da i kvazari leže na kosmološkim udaljenostima, uprkos, i nekim suprotnim mišljenjima.

## 5.1.4 Pulsari

Do otkrića ovih objekata došlo je 1967. godine. Grupa engleskih naučnika pod vodstvom M. Ryle-a i A. Hewish-a otkrila je najprije jedan diskretni izvor radio zračenja. Signali koji su primani stizali su u obliku kratkih pulseva. Misleći da se radi o poruci neke vanzemaljske civilizacije, oni su svoje otkriće držali u tajnosti čitavih šest mjeseci. Do tada opaženi radio izvori zračili su manje-više kontinuirano, odnosno, u dovoljno dugim vremenski periodima nije bilo znatnijih promjena u intenzitetu. Sada su se radio astronomi sreli sa objektom koji je slao vrlo kratke signale u razmaku od oko jedne sekunde. Poslije nekoliko mjeseci otkriven je veći broj ovakvih izvora, pa je pretpostavka o vještačkom porijeklu emisija otpala. Otkriće je objavljeno i objekti su prozvani pulsarima.

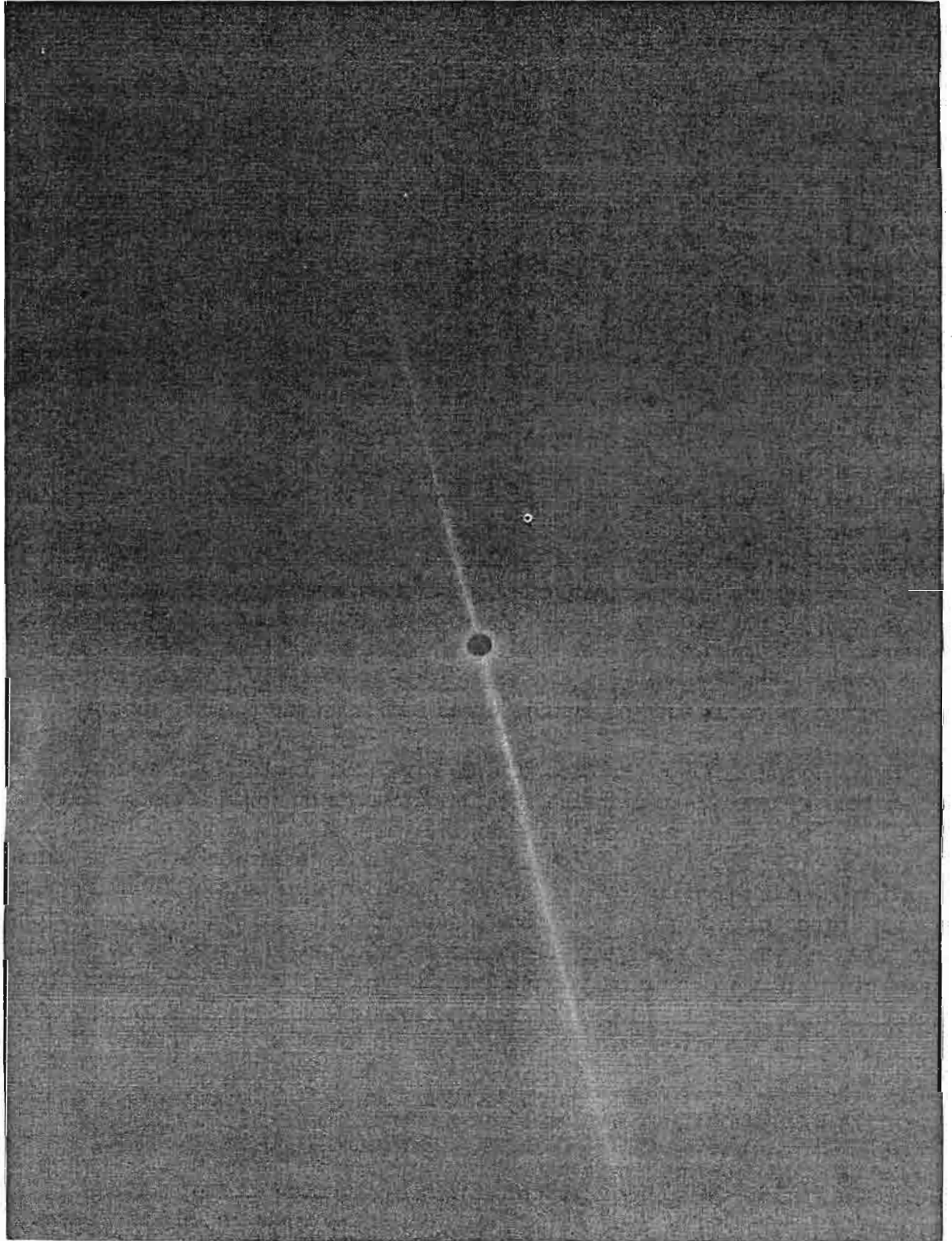
Periodi između dva uzastopna radio signala pulsara kreću se obično između pola sekunde i jedne sekunde. Ti periodi su izuzetno pravilni. Tako prvi otkriveni CP 1919 ima period između dva pulsa koji iznosi 1.33730113 sekunde. Posebnu pažnju astronomi su posvetili pulsaru otkrivenom u već dosta pomnijoj Krab maglini, ostatku eksplozije supernove iz 1054. godine.

Vrlo brzo pulsari su povezani sa hipotetskim neutronske zvijezdama. Normalna zvijezda sa nešto većom masom od sunčeve može u procesu evolucije da završi kao neutronska zvijezda, odnosno, da joj čitava materija pređe u neutronske stanje. Elektroni prodiru u jezgre spajajući se sa protonima i stvaraju neutrone. Do ovakvog procesa moglo bi doći na razne načine a potrebne su ogromne energije. Eksplozije supernovih omogućavaju ovakav prelaz. Zato pulsar otkriven u Krab maglini potvrđuje ovakve zaključke. Gustina nastale neutronske zvijezde je ogromna i jednaka gustini atomskih jedara. Istovremeno, ovakve zvijezde imaju strahovito male radiuse kada se uporede sa zvijezdama. Prosječno oni bi se kretali od 10 do 30 kilometara. Pri katastrofalnom skupljanju do razmjera neutronske objekta, zvijezda, težeći da zadrži moment količine kretanja, ogromno povećava brzinu svoje rotacije. Dok se kod zvijezda Sunčevih dimenzija mogu konstatovati brzine rotacije od 25 do 30 dana, pulsari se obrnu za sekundu i manje.

Kada je hipotetski razrađivan model neutronske zvijezde, došlo se do zaključka da bi temperatura na njoj površini mogla iznositi 10 miliona stepeni. Maksimum zračenja energije neutronske zvijezde onda bi padao u oblast rentgenskih zraka. Činjenicu da pulsari zrače u ovom opsegu potvrdila su posmatranja satelita, jer Zemljina atmosfera upija takva zračenja.

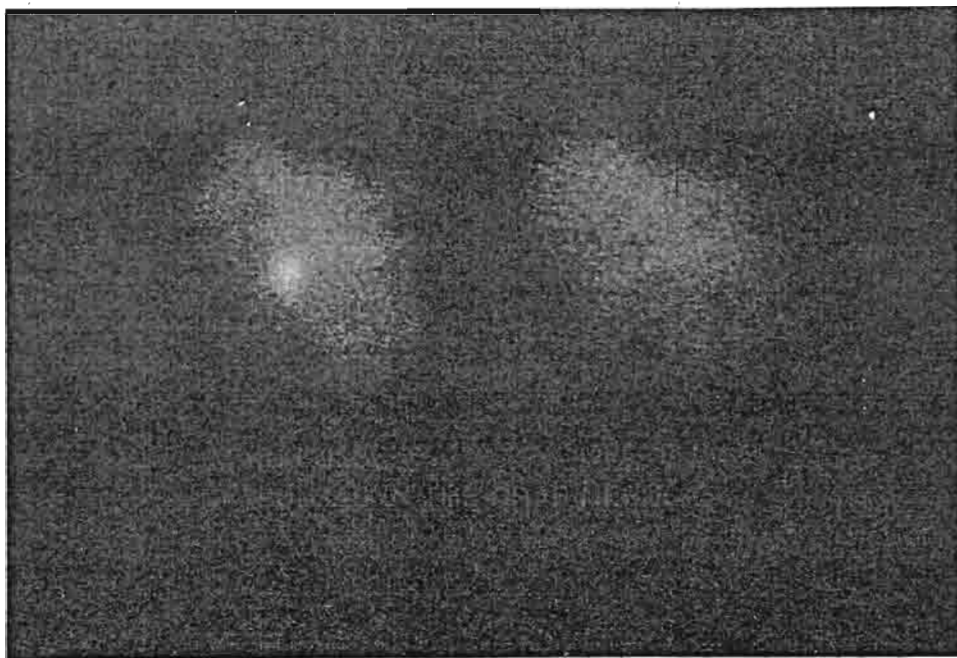
Nekim istraživačima je palo na pamet da bi možda pulsari mogli emitovati svoje zračenje i u vidljivoj svjetlosti. O mehanizmu nastanka takvih emisija

SI.5.8.



reći ćemo nešto više kasnije. Za provjeru ove zamisli izabran je pulsar u Krab maglini. Ispred teleskopa postavljen je pomični zaslon koji je, pokretan nekim motorom, naizmjenično otkrivao, odnosno, prekrivao objektiv teleskopa. Očekivalo se da je pulsar slabog sjaja, pa je zato korištena tehnika cijevi za sliku bazirana na televizijskoj tehnici. Kada se vrtnja motora sinhronizuje sa svjetlosnim bljeskovima pulsara, on će se vidjeti kao nepomična tačka, dok će zvijezde u njegovoj okolini treberiti zbog naizmjeničnih pokrivanja objektiva, jer one nemaju nikakve pulsacije. Eksperiment je u potpunosti uspio i otkriven je optički pulsar u Krab maglini.

Već smo pomenuli da pulsari u svom fizičkom stanju ne mogu da zrače vidljivu svjetlost. Za objašnjenje ovoga ponuden je poseban model. Znamo da sve zvijezde posjeduju magnetno polje. U normalnim prilikama ono nije tako jako. Međutim, nakon skupljanja zvijezde i njenog prelaska na radius pulsara, te magnetne silnice strahovito su se zgusnule. Ovo moćno polje rotira zajedno sa pulsarom. Materija koja je preostala od eksplozivnog procesa ima dosta naelektrisanih čestica na koje to polje djeluje. Tako je moguće da elektroni budu ubrzani do brzina bliskih brzini svjetlosti. Pri tome dolazi do procesa sinhrotronog zračenja, odnosno, elektroni zrače svjetlost. Elektroni bi izli



Sl.5.9. Pulsar u Krab maglini u retgenskom području. Na snimku, načinjenom satelitom "Einstein", vidljiv je pulsar i momentat kada je mlaz rentgenskog zračenja bio upućen na drugu stranu pa ga uređaji nisu mogli registrovati.

jetali ogromnim brzinama duž magnetnih polova pulsara zračeći svjetlost. U modelu pulsara pretpostavlja se da se njegova magnetna i rotaciona osa ne

poklapaju. Zato magnetni pol vrši precesiju oko rotacionog pola. Zračenje duž magnetnih polova je usmjereno, pa tako pulsar, poput reflektora "šara" svojim svjetlosnim mlazom kroz svemir. Ako mu je položaj u odnosu na nas povoljan, tada, taj mlaz sinhrotrone svjetlosti može da nas pogodi.

## 5.2 INFRACRVENA ASTRONOMIJA

Područje infracrvenih zraka (IC zraka) prostire se neposredno nakon vidljive svjetlosti. U osnovi može se podijeliti na: Fotografsko infracrveno područje (od 0.7 do 1.1 mikrometar), 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) i područje podmilimetarskih talasa (od 300 do 1000 mikrometara). Znači, ukupno područje infracrvenih zračenja pruža se od 700nm do 1 mm.

Neke fotografske emulzije osjetljive su na IC talase kraćih dužina i otuda i potiče naziv za prvo područje. Pored emulzija i neki novi sistemi svjetlosnih detektora na bazi silicijumskih čipova (CCD - vidi dodatak o instrumentima), takođe su u izvjesnoj mjeri, osjetljivi na IC talase kraćih talasnih dužina. Posmatranja u fotografskom infracrvenom području ne daju posebno različitu sliku neba. Zvijezde koje su inače crvene ovdje, svakako, dominiraju svojim sjajem, za razliku od onih plavih. Ono što je posebno značajno je činjenica da infracrveni talasi prodiru kroz oblake međuzvezdane materije. Čestice koje grade ove oblake imaju dimenzije reda veličine talasnih dužina vidljive svjetlosti i zato je u potpunosti zaustavljaju. Ukoliko se pomjeramo prema talasima većih dužina, to možemo dublje prodrijeti iza oblaka međuzvezdane materije. Međutim, posmatranja postaju sve teža jer fotografske emulzije i elektronski detektori nisu upotrebljivi za detekciju tih talasnih dužina.

Jedan od pogodnih materijala koji se koristi za detekciju IC zračenja je indium antimonid. On se mora ohladiti do temperature čvrstog azota ( $50^{\circ}\text{K}$  ili  $-223^{\circ}\text{C}$ ) ili, čak, do temperature tečnog helijuma, (nekoliko stepeni iznad apsolutne nule) da bi mogao detektovati slaba IC zračenja. Zemljina atmosfera zadaje veliki problem infracrvenim astronomima. Veći dio IC područja je potpuno upijen. Sa druge strane, ima i nekih prednosti. U bliskom IC području nebo je propusno i danju, pa izgleda crno, tako da je moguće vršiti posmatranja raznih objekta i usred dana. Najveći apsorberi IC zračenja u atmosferi su vodena para i ugljen dioksid. U tom, i drugim upijanjima, postoje "prozori" koji omogućavaju istraživanja sa površine Zemlje.

Tako jedan od "prozora" postoji oko talasne dužine 2.2 mikrometra. U tom području je početkom šezdesetih godina napravljen jedan od prvih infracrvenih kataloga (InfraRed Catalogue ili IRC), poznat i kao Two Micron Survey (Dvomicronski pregled). On je sadržavao oko 5600 "infracrvenih zvijezda".

Kod infracrvenih teleskopa, koji su postavljeni na površini Zemlje, koriste se posebne tehnike "klačenja" sekundarnog ogledala. Neprekidnim poređenjem njegovog sjaja sa sjajem posmatranog objekta, kompenzira se IC sjaj neba. Ovo, kao i druge tehnike ipak, ne dozvoljavaju posmatranje dužih infracrvenih zračenja sa opservatorija koje nisu visoko iznad nivoa mora. Jedini izlaz bio je podizanje infracrvenih teleskopa što je moguće više. Najbolje mjesto za takve radove nesumnjivo je vulkanski vrh Mauna Kea na Havajima, koji se diže na visinu od 4200 m i već služi za smještaj velikih optičkih instrumenata. Na njemu se sada nalaze dva najveća IC teleskopa. Jedan, prečnika 3 m, pripada američkoj svemirskoj agenciji (NASA), a drugi je engleski infracrveni teleskop prečnika 3.8 metara (United Kingdom Infrared Telescope ili UKIRT).

Pored zvijezda snažni infracrveni izvori su i oblaci međuzvezdane prašine, koji svijetle u IC području, zagrijani blisko smještenim toplim mladim zvijezdama. Da bi se u potpunosti istraživalo cijelo područje infracrvenih zračenja neophodno je podići instrumente van zemljine atmosfere. Prvi pokušaji vršeni su raketama, balonima i avionima. No, istinski, pravi, rezultati dobijeni su tek satelitskim istraživanjima.

25. januara 1983. godine lansiran je infracrveni astronomski satelit nazvan IRAS (prema InfraRed Astronomical Satellite). To je zajednički projekat astronoma iz USA, Velike Britanije i Holandije. Ovaj, jednu tonu težak satelit živio je aktivno oko 11 mjeseci. Njegov 56.5 cm-ski teleskop bio je hladen do temperature tečnog helijuma (oko  $2.5^{\circ}$  iznad apsolutne nule), kako bi se uklonila neželjena infracrvena zračenja koja potiču od samog satelita. Njegovi detektori bili su toliko osjetljivi, da su mogli opaziti zračenje jedne čestice prašine na daljini od 3 kilometra. Detektori su radili u područjima od 12, 25, 60 i 100 mikrometara, što pripada srednjim i dalekim infracrvenim zračenjima.

Satelit IRAS obavio je raznovrsna posmatranja različitih objekata. U pogledu istraživanja Sunčevog sistema među prve rezultate spada otkriće nove komete nazvane IRAS-Araki-Alcock, koja je poslije Lexell-ove komete iz 1770 godine, prošla bliže Zemlji od ijedne druge (oko 5 000 000 km). Kasnije je IRAS otkrio još 4 druge komete. Ova otkrića ukazuju da u našem planetnom sistemu ima mnogo više kometa nego što se ranije mislilo, i da sve nisu dovoljno sjajne u vidljivoj svjetlosti, pa stoga nisu opažene. Detektori ovog satelita ustanovili su da je prašinski sadržaj u kometama veći, nego što su to pokazivala mjerenja u drugim talasnim dužinama elektromagnetnog spektra.

U oktobru 1983. godine IRAS je detektovao objekat koji se dosta brzo kretao. Za njega se pretpostavlja da predstavlja specijalan tip asteroida ili, što je čak vjerovatnije, objekat označen sa 1983 TB bio bi ostatak jedra neke komete. Neki su, kao Fred Whipple, pokazali da postoji veza ovog objekta sa meteorskim potokom Geminida. 1983 TB inače, u perihelu, prolazi veoma blizu Suncu, bliže od ma kog danas poznatog asteroida i zalazi duboko unutar putanje Merkura.

Postojanje međuplanetarne materije u Sunčevom sistemu poznamo kao zodi-jakalnu svjetlost. IRAS je otkrio postojanje novog prstena prašinaste mate-rije, smještenog između orbita Marsa i Jupitera (u asteroidnom pojasu). Čestice u ovom oblaku, oblika torusa, kreću se putanjama koje su nagnute u odnosu na ravan ekliptike za oko  $9^\circ$ . Ovakav sistem čestica, gledano očima nebeske mehanike, ne bi mogao previše dugo da bude stabilan i zato su realne pretpostavke da on postoji svega nekoliko desetina hiljada godina. To je prava mladost, ili, čak rano djetinjstvo u poređenju sa drugim tijelima u našem planetnom sistemu. Neka razmatranja ovu pojavu objašnjavaju mogućim višestrukim sudarima asteroida, čije su orbite bile nagnute za oko  $9^\circ$  u odnosu na ekliptiku.

Kada su detektori IRAS-a bili okrenuti dalje od Sunčevog sistema, došlo je do novih otkrića. Među prva spadaju tzv. "infracrveni cirusi", izmaglice koje podsjećaju na oblake i prostiru se po čitavom nebu. Temperatura ovih "cirusa" iznosi oko  $35^\circ\text{K}$ , što znači da su veoma "hladni". Ove čestice, ve-ličine čestica u duvanskom dimu, sastoje se mahom od grafita, odnosno, uglje-ničnog su karaktera. Drugi, mogući materijal, kao što su zrnca silicijuma, provodi i zrači toplotu bolje od grafita, i bio bi hladniji, što se ne opaža IRAS-ovim mjerenjima. Da li "infracrveni cirusi" pripadaju našem Sunčevom sistemu, ili, pak, imaju širu rasprostranjenost u okvirima Mliječnog puta, za sada je nejasno. Postoje pretpostavke da je IRAS "vidio" poznati Cort-ov kometni oblak, koji bi trebao da se prostire na daljini između 50 000 i 100 000 astronomskih jedinica od Sunca.

Što se tiče svijeta zvijezda, jedno od prvih iznenađenja bilo je slu-čajno otkriće hladnog oblaka čvrstih čestica oko Vege. Ova plava zvijezda, tipa A0, koristila se u toku početka misije IRAS-a za kalibraciju detektora. Odmah se pokazalo da je Vega sjajnija u infracrvenom području nego, što bi trebala biti i jedna zvijezda tipa A0. IC zračenje potiče od oblaka tempera-ture  $85^\circ\text{K}$ , koji se pruža na daljini od nekih 85 a.j. od zvijezde. Čestice tog oblaka trebale bi da imaju prečnike od barem jednog milimetra pa na više (koliko više, to nije moguće reći). Otkriveno je još nekoliko ovakvih sluča-jeva. No, detektori IRAS-a nisu imali preciznost, koja bi dozvolila tvrdnju, da bi takvi oblaci predstavljali snažniju indikaciju, da bi se moglo raditi o planetnim sistemima. Koristeći 2.5 metarski teleskop opservatorije Las Campas u Čileu, B. Smith i R. Terrile su, koristeći ingenioznu tehniku maskiranja za-sljepljujuće svjetlosti zvijezde, osmotrili Betu Pictoris, jednog od IRAS -ovih kandidata za moguće planetske sisteme. Posmatranje uz pomoć CCD uređaja dalo je sliku diska koga mi posmatramo "sa strane" i koji se pruža do udalje-nosti od preko 400 a.j. od zvijezde. Ovo su prvi ozbiljni dokazi u prilog tvrdnji da naš planetni sistem nije rijetkost, ili, čak, unikat u Galaksiji ili svemiru.

Interesantna su bila i druga posmatranja. Zvijezdu Betelgez u Orionu okružuju tri "školjke" hladne prašinaste materije koje se, međusobno razdvo-



jene, prostiru do daljine od 4.5 svjetlosnih godina od zvijezde. One ukazuju da je ova polupravilna zvijezda u bližoj prošlosti (periodu od 50 000 do 100 000 godina prije) imala tri jače erupcije materije. Asimetričnost ovih struktura objašnjava se strujanjem međuzvjezdane materije - međuzvjezdanog vjetra, koji je "oduvao" dio materijala pri svom kretanju.

IRAS je obavio i značajna posmatranja centralnih oblasti Mliječnog puta koje su skrivene gustim oblacima međuzvjezdane prašine. Posmatranja gustih oblaka prašine i gasova dovela su do otkrića zona zvijezda koje se upravo stvaraju, ili su stvorene u bliskoj svemirskoj prošlosti. Kameleon I, tamni međuzvjezdani oblak, sadrži 70 infracrvenih izvora, od kojih bi dio mogle biti zvijezde u stvaranju. Barnard 5, mali tamni oblak u Ferzeju, sadrži dva kompaktna objekta, od kojih bi jedan bio zvijezda u rađanju sa masom jednakom masi Sunca.

Vršena su posmatranja i drugih galaksija. M 31, u Andromedi, pokazala se kao slab IC izvor. Gotovo, uopšte, nisu detektovane eliptične galaksije kao izvori što se uklapa u njihovu sliku sistema, gdje međuzvjezdana materija gotovo nije prisutna i, gdje se malo rađaju nove zvijezde. Za galaksiju M 82 zna se da ima eksplozivni proces i da, vjerovatno, sadrži dosta prašinate materije. To su potvrdila i IRAS-ova posmatranja. Ustanovljeno je da ova galaksija zrači četiri puta više u IC području nego u vidljivom. Otkriveni su slučajevi galaksija, do sada nepoznati, koje zrače 10 pa i 50 puta više u IC području, nego u vidljivom.

IC teleskop otkrio je i izvore za koje nisu, teleskopima sa Zemlje, ustanovljeni optički vidljivi objekti. Zato je teško reći kakvi su to izvori. Novi, precizniji instrumenti, koji se planiraju lansirati narednih godina, donijeće i neke nove odgovore.

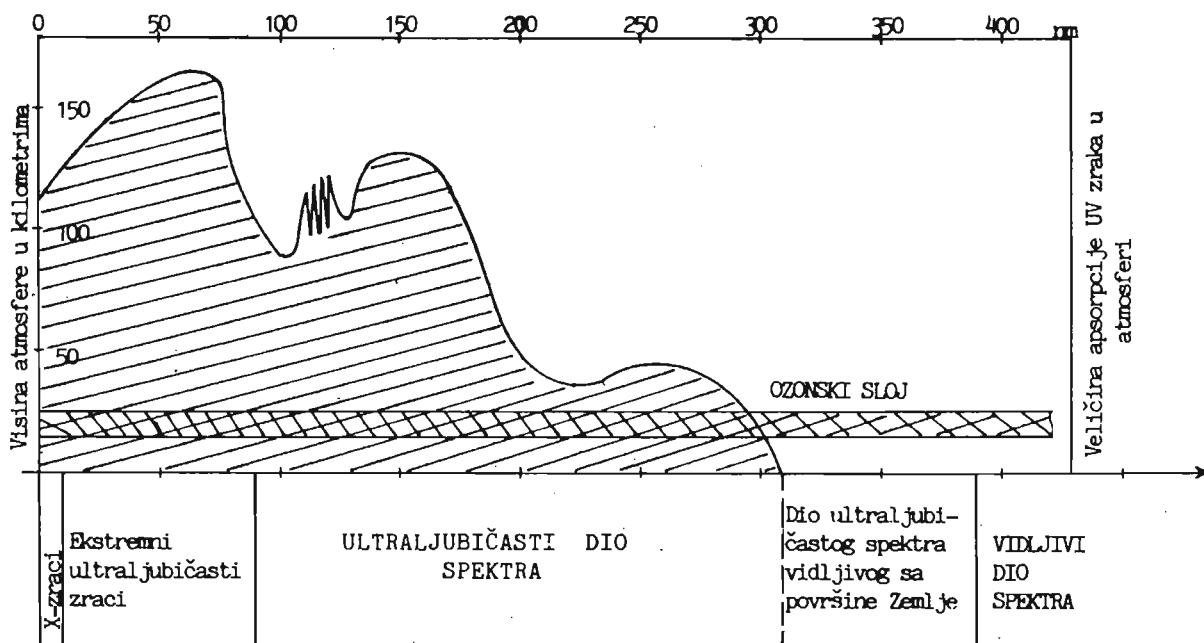
### 5.3 ULTRALJUBIČASTA ASTRONOMIJA

Ultraljubičasti dio spektra prostire se od 10 nm do 390 nm. Najveći dio ovog zračenja upijen je u zemljinoj atmosferi kako se to vidi na slici 5.10. Najviše ga upijaju kiseonik i azot, te ozon čiji sloj uspješno upija širi spektar ultraljubičastih zraka.

Ovaj ozonski sloj štiti život na Zemlji od razornog uticaja UV zračenja. No, za astronomiju, ovaj dio spektra je izuzetno značajan jer daje informacije o objektima visokih temperatura, a posebno, o mladim vrućim zvijezdama, te o objektima kakve su aktivne galaksije, kvazari i slično. Zbog upijanja u atmosferi, u praksi se pod ultraljubičastom astronomijom podrazumjeva izučavanje talasnih dužina kraćih od 310 nanometara. To znači, da UV teleskopi moraju biti podignuti iznad czonskog sloja. Prva ovakva istraživanja vršena su balonima, a kasnije, pri kratkim letovima raketa u balističkoj putanji. Prva dva ultraljubičasta satelita bili su američka "Orbitalna astronomska opservatorija-2" (Orbiting Astronomical Observatory ili OAO-2) i, evropski satelit



TD-1A. Oni su dali opšti pregled ultraljubičastog neba.



Sl.5.10.

Površan pogled na te snimke govorio je da nema bitne razlike između ultraljubičastog i vidljivog izgleda neba. U oba slučaja vide se hiljade zvijezda, koje se koncentrišu ka ravni Mliječnog puta. Detaljnija analiza pokazuje bitne razlike. Na ultraljubičastom nebu dominiraju zvijezde sa temperaturama između  $10\ 000^{\circ}\text{K}$  i  $100\ 000^{\circ}\text{K}$ . Poznato sazviježđe Oriona je karakterističan primjer. Sjajna crvena zvijezda Betelgez, u UV području zrači veoma malo, jer je hladna, i zato nevidljiva u ultraljubičastoj slici. Rigel je, pak, sjajniji u ultraljubičastoj nego u vidljivoj svjetlosti. No, on je slabijeg sjaja od tri zvijezde koje grade pojas Oriona. Ove zvijezde spadaju među najsjajnije na ultraljubičastom nebu. Svaka od tih zvijezda ima temperaturu od  $30\ 000^{\circ}\text{K}$ .

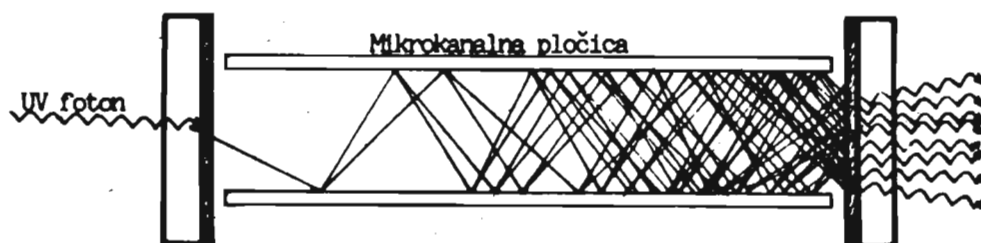
Poznato je, na osnovu saznanja o mogućim putevima zvjezdane evolucije, da zvijezde sa većim masama brže sagorjevaju i troše svoja nuklearna goriva

zračeći snažno u ultraljubičastoj oblasti. Obzirom na brzinu nuklearnog sagorjevanja, ove zvijezde su mlade i nalaze se u blizini mjesta rođenja jer im kratkoća života ne dozvoljava kretanje galaktičkih razmjera.

Kod posmatranja drugih spiralnih galaksija zapaža se da slično kao i kod Mliječnog puta, oblasti radanja zvijezda leže u spiralnim kracima. Starije zvijezde manjih masa, crvene i žute, popunjavaju prostor između i koncentrišu se u središtima.

Što se tiče instrumenata, koji služe za detekciju ultraljubičastih talasa, njihovu osnovu čine optički teleskopi koji fokusiraju UV zrake. Naravno, koriste se i reflektori (staklena ogledala presvučena slojem aluminijskuma). Za prijem zračenja mogu se koristiti elektronski detektori i film. Pri tome filmovi za UV područje moraju sadržati minimalnu količinu želatina, jer on upija ultraljubičaste zrake kraće od 220 nm.

Od novijih detektora u ultraljubičastoj astronomiji važna je primjena tzv. mikrokanalnih ploča. Svaka takva ploča sadrži hiljade malih staklenih cijevčica dužine jedan milimetar i prečnika četrdesetak milimetara. Ove cjevčice su u obliku sendviča, paralelno upakovane u stakleni kontejner sa vakuumom. Prednja ploča sadrži metalni premaz osjetljiv na ultraljubičasto zračenje, a straga je fosforni ekran koji proizvodi svjetlo pri padu elektrona na njega. Krajevi cjevčica su pod naponom od oko 1000 volti, a pozadi fosfornog ekrana je fotografska ploča koja služi za registraciju. Mikrokanalna ploča postavlja se u fokus teleskopa. Kada foton ultraljubičastih zraka padne na prednju elektrodu, on oslobada elektron u cjevčicu koja je iza. Taj elektron duž cjevi dobija ubrzanje i, udarajući o zidove proizvodi druge elektrone, koji opet, takođe, udaraju u zidove i sve rezultira time da jedan elektron može da proizvede i do 100 000 elektrona koji udaraju u fosforni ekran. Po svom položaju mrlja na fosfornom ekranu odgovara položaju ultraljubičastog fotona koji ju je izazvao. Samo, ova tačka je sada mnogo sjajnija. Princip rada mikrokanalne ploče dat je na slici 5.11, na primjeru jedne cjevčice.



Sl.5.11. Mikrokanalna ploča.

Kod ultraljubičastih satelita koriste se televizijske tehnike za detekciju slike. Kombinacija sa mikrokanalnim pločama daje mogućnost kvalitetnih

snimaka slabih objekata. U ultraljubičastim istraživanjima važnu ulogu odigrala je "Orbitirajuća astronomska opservatorija" (Orbiting Astronomical Observatory) nazvana "Kopernik" (Copernicus). Ovaj satelit nosio je sa sobom teleskop prečnika 0.8 metara i bio lansiran 1972. godine. Tokom 9 godina svog aktivnog života, "Kopernik" je dao detaljan pregled ultraljubičastog spektra između 95 i 300 nanometara. 1978. godine lansiran je zajednički evropsko-američki satelit nazvan "Međunarodni ultraljubičasti istraživač" (International Ultraviolet Explorer), ili skraćeno IUE. Iako je raspolagao sa manjim teleskopom (prečnika 45 cm), on je posjedovao osjetljivije detektore i omogućio posmatranja slabijih zvijezda nego "Kopernik".

Najveći dio posmatračkog vremena ovih satelita korišten je za izučavanje spektara pojedinih objekata, a naročito zvijezda. Ugljenik i azot, na primjer, ne daju mnogo informacija o sebi putem svojih spektralnih linija u vidljivom dijelu spektra. Ali, u ultraljubičastom dijelu, oni imaju jake linije koje govore o njihovom procentu u sastavu pojedinih zvijezda. Tako je prilikom poznate eksplozije nove zvijezde u sazviježđu Labuda (1975. godine), pomoću IUE satelita otkriveno da je oslobođeno dosta azota. Sa druge strane, posmatranja Krab magline (ostatak supernove iz 1054. godine) daju podatke da je eksplozijom oslobođeno srazmjerno malo ugljika. Ovakvi podaci su od velikog značaja pri istraživanju problema stvaranja elemenata i mehanizama, koji stoje iza tako značajnih pojava, kakve su eksplozije zvijezda.

U ultraljubičastom području značajna su posmatranja međuzvjezdanog gasa. On upija pojedine talasne dužine. Posmatranja su pokazala da je on posve neravnomjerno raspoređen u galaksiji. Ovaj gas je u izvjesnoj mjeri propustan za ekstremno kratka ultraljubičasta zračenja koja su bliska rentgenskim. Detektori ekstremnih ultraljubičastih zračenja mogu da opaze objekte sa još višim temperaturama (od  $100\ 000^{\circ}$  do  $1\ 000\ 000^{\circ}$ K). Obične zvijezde nikada nisu tako vruće. Korone koje okružuju pojedine zvijezde (pa i Sunce) imaju takve temperature.

Posmatranja Velike magline u Andromedi pokazala su da centri aktivnosti u ultraljubičastom pogledu leže u spiranim kracima i u jedru. Postojanje UV fluksa u jedru ove i drugih galaksija iznenađenje je i za sada misterija. Nije moguće objasniti otkuda potiče to zračenje, karakteristično za mlade zvijezde, kada se zna da su u jedru koncentrisane uglavnom stare zvijezde, koje slabo zrače u ovom području.

#### 5 . 4 R E N T G E N S K A A S T R O N O M I J A

Kao što je poznato iz opšte fizike, rentgenske zrake zrače elektroni pod određenim uslovima. Pri tome se mogu razlikovati dvije vrste rentgenskih zraka. Jedni nastaju kočenjem brzih elektrona pri njihovom kretanju kroz neku materiju. Drugu vrstu rentgenskih zraka odaju elektroni prilikom prelaska iz jedne u drugu atomsku ljusku. Rentgenski zraci imaju talasne dužine

od 0.01 do 10 nm. Takva kratkotalasna zračenja Zemljina atmosfera upija u potpunosti, pa je zato za istraživanje rentgenskih izvora potrebno aparaturu poslati van atmosfere.

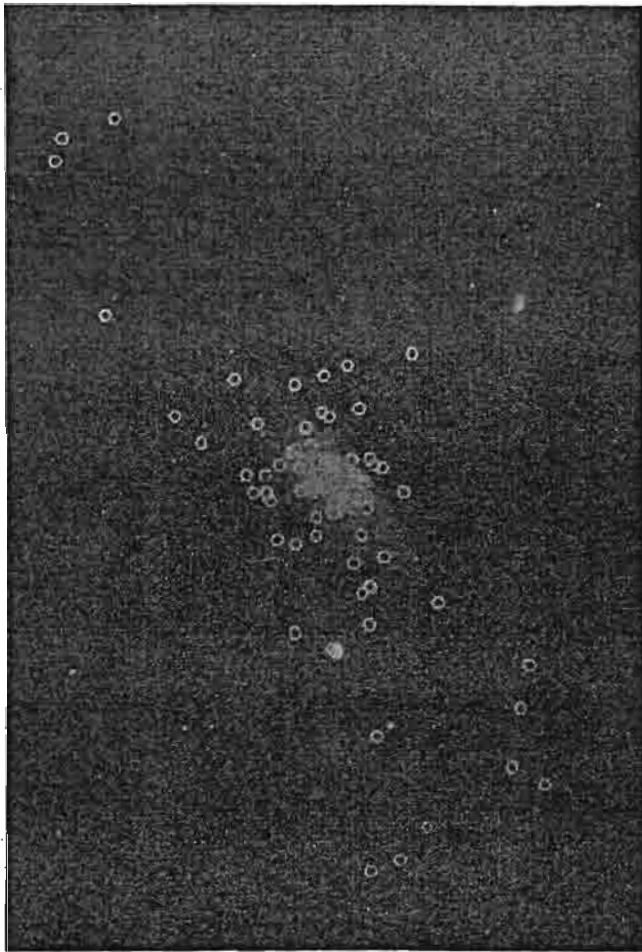
Rentgenske zrake takode, emituju objekti veoma visokih temperatura (od 1 do 100 miliona stepeni).

Jedini rentgenski izvor čije je zračenje moguće registrovati sa Zemlje je Sunce. Prva raketna istraživanja rentgenskih objekata su vršena početkom

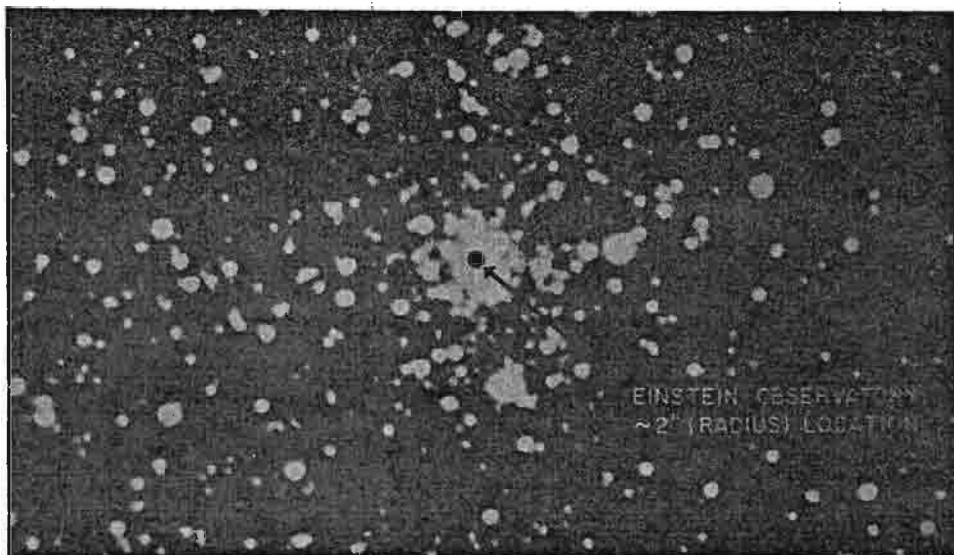
šesdesetih godina. Tada je opažen do danas najjači poznati izvor ovog zračenja. To je objekat označen sa Sco X-1. On se nalazi u sazviježđu Škorpiona. Novija istraživanja pokazala su da se ovdje radi o dvojnog sistema gdje se gas sa normalne zvijezde spiralno obrušava ka kompaktnom objektu (neutronske zvijezde, ili možda crnoj jami).

Istraživanja rentgenskih izvora započela su 1962. godine. Rakeete su tokom svog kratkog leta omogućile detekciju prvih vansolarnih izvora X-zračenja. Kasnije lansiranje satelita SAS-1 (Small Astronomy Satellite) nazvanog "Uhuru" omogućilo je registrovanje više od 400 izvora. Kasnije su lansirani i drugi sateliti kao što su SAS-2 (takode američki), te Ariel V (Vel. Britanija) ANS (USA-Holandija), Ariel VI te Evropski Exosat (European X-ray Observational Satellite).

Sljedeća generacija rentgenskih satelita predstavljena je sa HEAO-1 (High Energy Astronomical Observatory) koji je lansirala NASA. Najznačajnije rezultate do sada dao je satelit HEAO-2, nazvan "Albert Einstein". On je nosio prvi teleskop koji je mogao da proizvede stvarne slike rentgenskih objekata. Instrument



Sl.5.12. Velika maglina u Andromedi (M 31) sa ucrtanim položajima do sada opaženih izvora rentgenskog zračenja. Od 72 opažena izvora, 21 se nalaze u središnjim dijelovima ove galaksije, 7 u kuglastim skupovima koji je okružuju, 41 u spiralnim kracima i, što je vrlo neobično, 8 izvora je smješteno u blizini pojedinih kuglastih skupova.

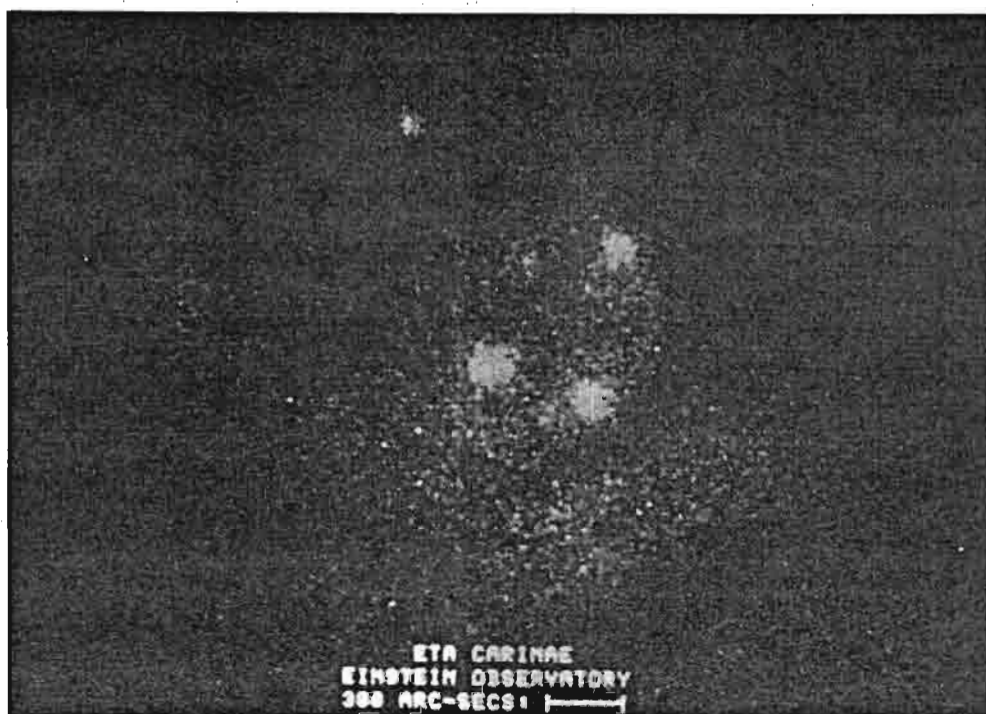


Sl.5.14. Posmatranja vršena u Rentgenskim zracima pokazala su da se u središtima nekih kuglastih kupova događaju značajni procesi. Na fotografiji je označen položaj gdje je opažena eksplozija u rentgenskom dijelu spektra. Kod skupa "Terzan 2" to se mjesto podudara sa centrom skupa. Uzrok ovih naglih eksplozija nije još uvijek poznat. Po nekim autorima najvjerojatniji uzrok bile bi silovite nestabilnosti u gasu koji pada, privučen gravitacijom masivne crne jame.

U središtima nekih kuglastih skupova opažene su snažne erupcije rentgenskih zraka. Vjeruje se da su izazvane padom materije na masivne crne jame, koje se u njima nalaze. Posmatranje Velike magline u Andromedi, dovelo je do otkrića 72 izvora u njenom sastavu (Sl.5.12). Čuvena radio galaksija Centaurus A (NGC 5128) je u rentgenskoj oblasti razdvojena na više izvora. Jedan, tačkasti, nalazi se u jedru. Oko jedra se registruje slabije difuzno zračenje, a primjećuje se i zračenje duž linije tamne materije, koja presjeca ovu galaksiju. Takođe je, opažen mlaz u rentgenskoj svjetlosti koji povezuje jedro sa jednom od petlji u radio opsegu.

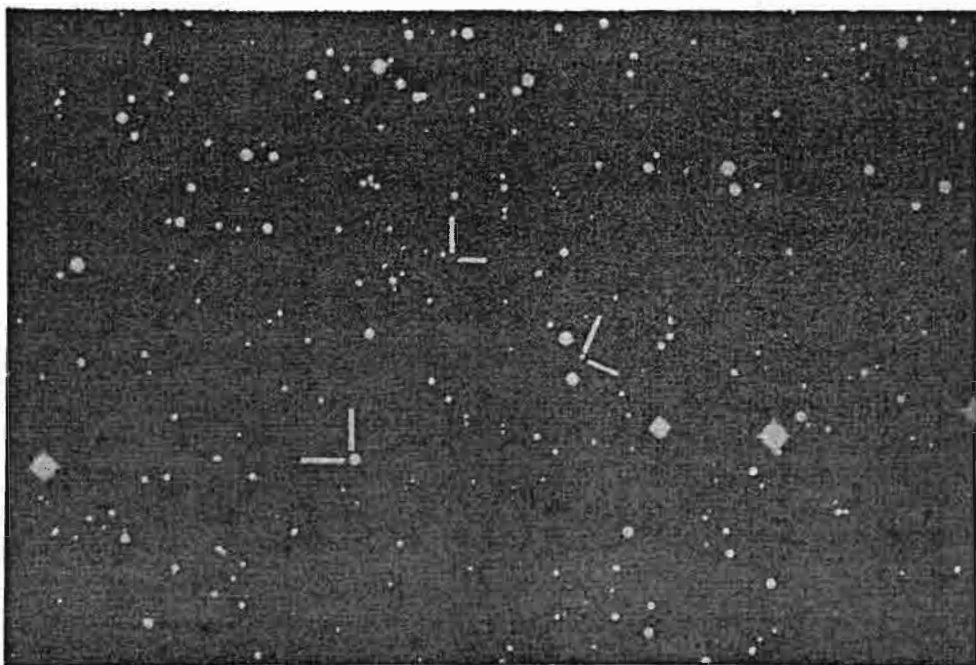
Skup galaksija u sazviježđu Virgo sadrži dosta izvora. Posebno snažna emisija potiče od džinovske eliptične galaksije M 87 koja je poznata po misterioznom mlazu materije. Poznata Seyfertova galaksija NGC 1275 u Perzeju (radio izvor Perseus A), takođe je, uočena kao izvor rentgenskih zraka. Kvazari u većini slučajeva zrače u ovom području. Satelitom "A.Einstein" otkriveni su i neki kvazari koje optički i radio astronomi nisu ni poznavali.

prečnika 58 centimetara, bio je snabdjeven posebnim cilindričnim ogledalima od livenog kvarca koja mogu da koncentrišu fluks X-zraka u fokus. Instrument je mogao da daje slike visoke rezolucije ali i širokougaone. Takođe, bio je snabdjeven i sa uređajima za detekciju spektra rentgenskog zračenja.



Sl.5.13. Oblast zvijezde Eta Carinae pokazuje postojanje tri jaka izvora rentgenskog zračenja. Snimak satelita "Albert Einstein".

Prva posmatranja pokazala su da gotovo sve zvijezde, neovisno o masi i spektralnom tipu, zrače rentgenske zrake. Primjer je trojni zvjezdani sistem najbliži Suncu, alfa Centauri. Ostaci supernovih, poput Krab magline, pokazali su se kao snažni izvori X-zraka. Iako se registruje pulsar u središtu magline, i njegovi pravilni bljeskovi (rotacija neutronske zvijezde). Sličan pulsar opažen je u sazviježđu Vela gdje je prije 6000 godina eksplodirala zvijezda i, svojim blještavim sjajem, uznemirila stanovništvo Mezopotamije. Posmatranja poznatog radio izvora "Kasiopeja A" dalo je, uz dugu ekspoziciju, lik magline u X-zracima. No, pulsar ili drugi tačkasti izvor nije opažen. Možeće je da se u ovom i sličnim slučajevima u centru eksplozije nalazi crna jama. Nju u ovakvim slučajevima nije moguće detektovati jer nema upadne materije kao što je to onda, kada se crna jama nalazi u sastavu nekog dvojnog sistema.



Sl.5.15. Oblast u sazviježdu Eridan sa tri slaba rentgenska izvora. Dole lijevo je zvijezda tipa "G", koja pripada našoj galaksiji, a dva druga objekta su novo otkriveni kvazari udaljeni nekoliko milijardi svjetlosnih godina.

Važna su i posmatranja pozadinskog difuznog rentgenskog zračenja, koja bi mogla da pruže ključ za tačnije određivanje gustine materije u svemiru, što je od fundamentalnog značaja za kosmologiju.

Napomenimo na kraju, da je rentgenska astronomija posebno značajna zbog potrage za crnim jamama.

## 5.5 ASTRONOMIJA GAMA ZRAKA

Područje gama zraka nastavlja se neposredno nakon rentgenskih i ne postoji granica koja ih odvaja. Gama zračenje ima još veću energiju od X-zraka i ona se kreće od više desetina i stotina hiljada elektron volti. Talasne dužine ovih zračenja prostiru se od 0.01 nanometar pa do ekstremno malih dužina od stamilionitog dijela nanometra. Gama zraci u potpunosti su zaustavljeni zemljinom atmosferom. Zato se uređaji za njihovu detekciju moraju slati u vanjski prostor.

Za detekciju gama zraka koriste se detektori koji obično rade na principu transformacije zračenja u svjetlost. Scintilacioni detektor sadrži kristal natrium jodida koji je okružen fotomultiplikatorskim cijevima. Kada gama zrak prodire u kristal on se sudara sa atomima i gubi svoju energiju u obliku vidljive svjetlosti. Taj bljesak svjetlosti onda se opaža fotomultiplikatorskim



cijevima. Kraći gama zraci, koji posjeduju veće energije, izazivaju i veći svjetlosni bljesak. Mjereći veličinu bljeska možemo doći do podataka o talasnoj dužini gama zračenja. Najznačajnija istraživanja u ovoj oblasti dali su američki satelit SAS-2 (1972. godine), i još više, evropski COS-B koji je radio od 1975. do 1982. godine.

Ovi sateliti nosili su nešto što možemo zvati gama teleskopima. Gama zraci ne mogu biti fokusirani refleksijom, jer su im talasne dužine manje od dimenzija atoma koji grade ma koje ogledalo. Kod COS-B satelita, korištene su posebne komore u kombinaciji sa tankim listovima volframa. Foton gama zraka, sa talasnom dužinom kraćom od od 0.001 nm, ulazeći transformiše se u par elektron-pozitron. U komorama se može pratiti kretanje elektrona i pozitrona koji na posljertku padaju na scintilacioni detektor. Mjerenje energije elektrona i pozitrona, te njihovih putanja, omogućava dobijanje podataka o energiji upadnog fotona gama zraka i njegovoj putanji. Preciznost teleskopa na ovom satelitu bila je takva, da se smjer gama zračenja mogao odrediti sa tačnošću u okvirima  $2^\circ$ . To je vrlo loše kada se poredi sa drugim teleskopima što rade na ostalim dijelovima elektromagnetnog spektra. Ali, i to je omogućilo da se dobiju prve karte neba u gama području.

Mliječni put dominira i na gama nebu i danju i noću. Sunce je nevidljivo, sem, kada se na njemu odvija neki bljesak. Gama izvori u Mliječnom putu uglavnom su nastali prodorom kosmičkih zraka (brze naelektrisane čestice koje su proizvedene pri eksplozijama supernovih zvijezda) u atome međuzvezdanog gasa. Tamo gdje je gas gušći, gama nebo je sjajnije. Tako je satelit COS-B našao sjajne mrlje unutar Velike magline u Orionu. Pulsari u Krab maglini i maglini Vela su sjajni tačkasti izvori gama zraka. Satelit je otkrio još dvadesetak takvih tačkastih izvora, koji još nisu identifikovani sa nekim optičkim ili radio izvorom.

Nezgodna kod gama istraživanja je da ova zračenja visokih energija stižu u pojedinačnim "paketima", koji stižu prilično rijetko. Tako pulsar u Krab maglini daje jedan do dva fotona na sat. Kod slabih izvora detektori sa COS-B satelita primali su svega jedan foton dnevno. Oni gama zraci sa najkraćim talasnim dužinama i ogromnim energijama, vjerovatno su, nastali na mjestima eksplozija supernovih, u moćnim magnetnim poljima oko pulsara i u gravitacionim vrtlozima oko crnih jama.

## 5.6 CRNE JAME

Već smo vidjeli da se izvori energije zvijezda nalaze u termionuklearnim procesima što se odigravaju u njihovim unutrašnjostima. Fuzijom (spajanjem) četiri vodikova atoma dobijamo atom helijuma i izvjesnu količinu energije. Tu energiju zvijezde odašilju u okolni prostor, gubeći ujedno i dio svoje mase, jer je prema poznatoj Ajnštajnovoj relaciji energija ekvivalentna masi tj.  $E=mc^2$  gdje je E enrgija, m masa, a c brzina svjetlosti.

Uprkos enormnim količinama materije koja je skoncentrisana u zvijezdama, nuklearno gorivo će se vremenom istrošiti. Neki proračuni pokazuju da, u slučaju Sunca, pri tempu pretvaranja 600 miliona tona vodika u helijum svake sekunde, taj proces može trajati još nekih pet milijardi godina. Kasnije može doći do drugih nuklearnih procesa, kao što je, transformacija helija u ugljenik i kiseonik. Međutim, sve ove kasnije reakcije, između težih elemenata, ne daju onoliko energije koliko su u početku davali lakši elementi.

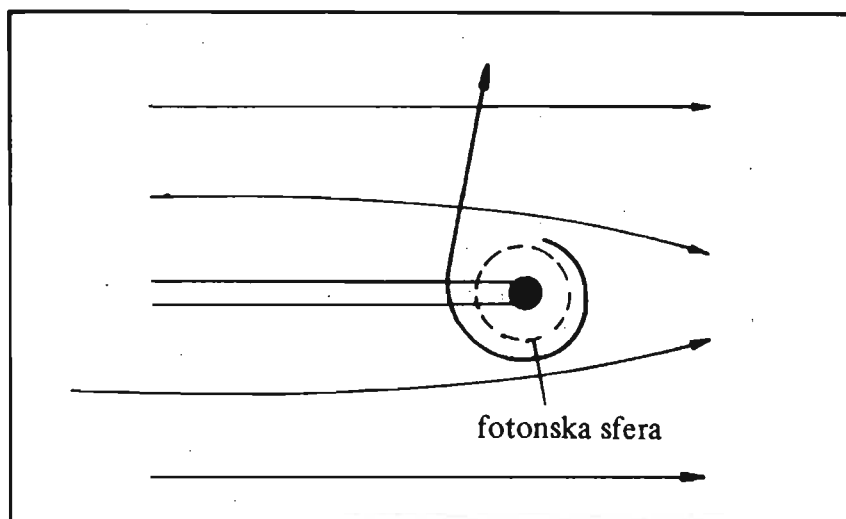
Dok je zvijezda imala dovoljne količine vodika, ta je golema energija što se oslobađala pri fuziji, bila dovoljna da izazove pritisak što je držao ravnotežu sa gravitacionim silama koje teže da materiju koncentrišu u jednu tačku. Kada se izvori energije iscrpe, tada, jasno, zvijezda počinje da se skuplja. Krajnji ishod tog sažimanja, kako su pokazala brojna teorijska istraživanja, zavisi, isključivo od početne mase zvijezde čije su rezerve goriva iscrpljene. Ukoliko zvijezda koja je počela da se skuplja (ili kolapsira, kako to astronomi najčešće kažu) ima masu manju od 1.25 Sunčeve mase, tada će na izvjesnom stepenu te kontrakcije pritisak elektrona postati dovoljan da bi zaustavio dalji kolaps. Zvijezde će preći u stanje bijelog patuljka. Takve zvijezde su već odavno poznate astronomima i prečnici su im reda Zemljinog, a gustina materije izuzetno velika.  $1 \text{ cm}^3$  materije nekog prosječnog bijelog patuljka na Zemlji težio bi i 1000 tona.

U slučaju mase veće od 1.25 Sunčeve, kolaps će se produžiti. Usljed ogromnog pritiska dolazi do prodora negativno nabijenih elektrona u atomske jezgre. Tu se elektroni "spajaju" sa protonima, dajući neutrone. Krajnji rezultat ovog procesa je da se ubrzo najveći dio zvjezdane materije sastoji od neutrona. Snazne nuklearne sile između ovih čestica dovoljne su da zaustave dalje skupljanje. Objekat koji nastaje ima prečnik reda 30 km i naziva se neutronska zvijezda. Od 1967. godine počeli smo da posmatramo i ovakve zvijezde. To su pulsari. Ako je zvijezda kod koje je kolaps počeo masivnije od Sunca za više od dva puta, tada ništa više ne može da zaustavi skupljanje. Naprosto, više ne postoje nikakve poznate fizičke sile koje bi mogle spriječiti zvijezdu da postane sve manja i manja. S pravom ovu fazu, u istoriji jedne zvijezde, mnogi nazivaju katastrofalni gravitacioni kolaps. Skupljanjem zvijezde, njeno gravitaciono polje postaje sve moćnije i njegove sile, koje su, normalno, najslabije sile u prirodi, nadvladavaju sve ostale. U slučaju ovako moćnog gravitacionog polja za razmatranje onoga što se dešava više nam nisu dovoljni zakoni klasične fizike. Jedino nam može pomoći opšta teorija relativnosti. U skladu sa postavkama opšte teorije gravitacije, krivina prostora-vremena oko zvijezde postaje tako velika da ona potpuno iščezava za vanjski svijet. To što smo dobili naziva se crna jama.

Iako je postojanje crnih jama bilo teorijski predviđeno još 1939. godine, one su postale aktuelne tek posljednju deceniju. Otkriće neutronske zvijezde je u znatnoj mjeri uticalo na to da se krene u potragu za crnim jamama. Traženje crnih jama otežano je samim tim što ih je nemoguće vidjeti. U

tako moćnom gravitacionom polju prostor-vrijeme oko nje je potpuno zakrivljen, pa nikakva svjetlost, ili ma koje drugo zračenje ne može da proдре u vanjski svijet. Ili, ako bismo to posmatrali na drugi način, onda bismo mogli isto tako reći da je tu gravitacija toliko jaka da je brzina odvajanja, sa površine crne jame, veća od brzine svjetlosti i zato, nikakav signal nije u stanju da proдре kroz gravitacionu barijeru.

Ako posmatramo neku konkretnu crnu jamu, onda će svjetlost drugih zvijezda koja prolazi pokraj nje, biti zakrivljena za neku veličinu koja zavisi od toga koliko blizu jame ta svjetlost prolazi. Pojedini zraci biće samo malo skrenuti, neki će se praktično zaokrenuti i vratiti natrag. Dio svjetlosti ući će u nestabilnu orbitu oko crne jame, a dio koji pada direktno na nju nikada više neće moći natrag. Fotoni koji orbitiraju oko jame tvore tzv. fotonsku sferu (sl.5.16).

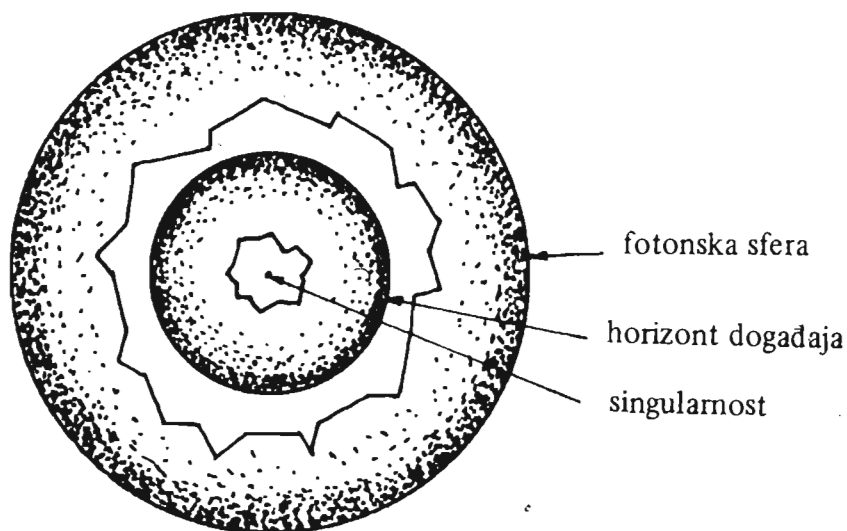


Sl.5.16. Formiranje fotonske sfere oko crne jame.

Ono što se dešava u procesu kolapsa najjednostavnije je opisati tako što postavimo nekog posmatrača na površinu zvijezde koja je otpočela skupljanje. U vrijeme kada je gravitaciono polje relativno slabije, dio svjetlosti može napustiti zvijezdu. Pretpostavimo, da taj naš posmatrač šalje svjetlost nekom vrlo jakom baterijom. Kada je zrak svjetlosti usmjeren vertikalno, tada će ta svjetlost napustiti zvijezdu tačno po tom pravcu. Ukoliko se izvor svjetlosti nagne pod mali ugao u odnosu na pravac posmatračevog zenita, tada će ti zraci takode napustiti zvijezdu, ali će biti malo zakrivljeni. Pod većim uglovima, svjetlost će biti toliko zakrivljena da će se vraati natrag na zvijezdu. Kako zvijezda nastavlja kolaps, to će taj konus, kroz koji svjetlost još može da napusti gravitaciono polje, biti sve uži i u jednom momentu nikakva svjetlost neće moći van. Tada kažemo da je naš posmatrač prešao tzv. horizont događaja.

Prošavši kroz horizont događaja, zvijezda nastavlja da se skuplja. Pritisak postaje fantastično veliki i ono što nazivamo materijom više se ne može prepoznati. Čitava masa zvijezde koncentrisana je u jednoj tački gdje su pritisak i gustina beskonačni, a zapremina, teorijski gledano, ravna nuli. Ta tačka naziva se singularnost. U čitavoj ovoj situaciji tj. u prisustvu moćnog gravitacionog polja, dolaze do izražaja relativistički efekti, posebno oni vezani uz vrijeme.

Ako uzmemo nekog putnika koji se približava crnoj jami (naravno, ovdje zanemarujemo činjenicu da bi on neminovno bio razoren silom gravitacije) tada će se on, za vanjskog posmatrača, beskonačno dugo približavati horizontu događaja. Vrijeme će se usporavati i on nikada neće preći tu barijeru. Naš putnik će, naprotiv, mjereći sve svojim satom, doći do zaključka da mu je za prolaz kroz horizont bilo potrebno konačno mnogo vremena. Relativistički gledano, oba posmatrača su u pravu.

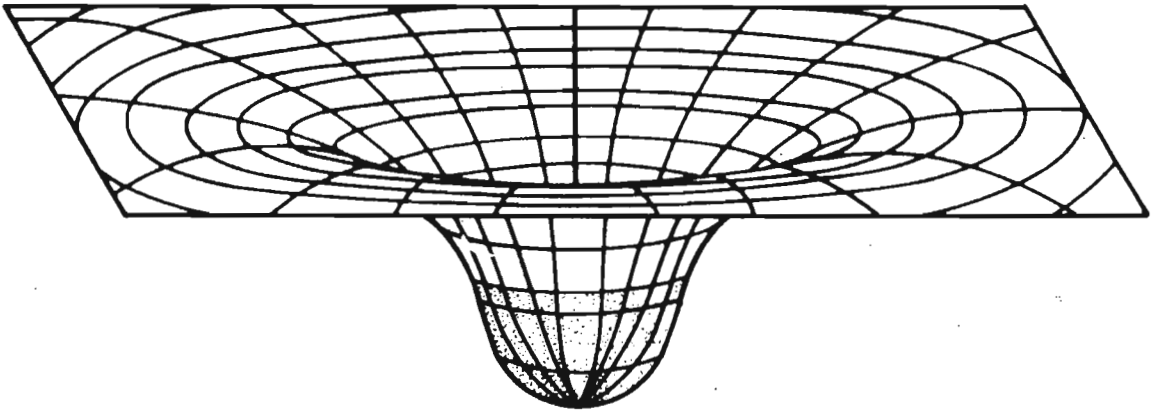


Sl.5.17. Model crne jame.

Dosadašnje opisivanje crnih jama bilo je u izvjesnoj mjeri i idealizirano. Sve što je opisano odnosilo se na idealni teorijski model nerotirajuće potpuno sferne zvijezde. Rješenje jednačina za ovaj slučaj dao je Švarcšild; pa se po njemu to rješenje naziva Švarcšildovo. Međutim, znamo da zvijezde rotiraju praktično bez izuzetka i da mnoge od njih nisu sferične. Zato je bilo neophodno pronaći rješenje za rotirajuće crne jame.

Razmatrajući Švarcšildovo rješenje, Ajnštajn i Rozen tridesetih godina dolaze do vrlo važnih zaključaka. Vidjeli smo da u kolapsu prostor-vrijeme

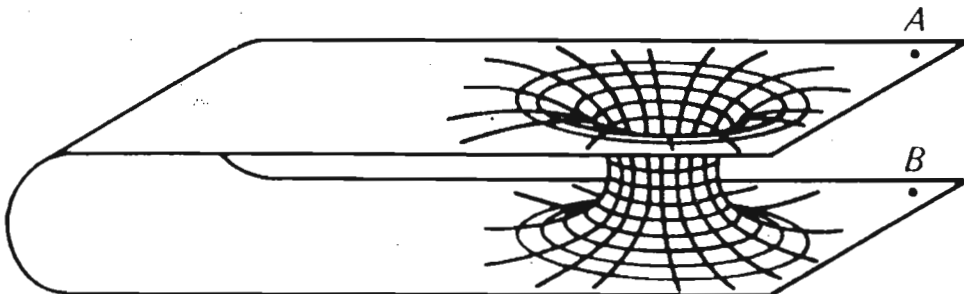
oko crne jame postaju potpuno zakrivljeni. Pošto se radi o četverodimenzionalnom prostoru, to je nemoguće predstaviti crtežom kako to izgleda. Ali, mogu se praviti analogije sa onim dimenzijama koje su nam razumljive. Tako bi krivina prostora-vremena sa dvije dimenzije izgledala kao na slici 5.18.



Sl.5.18.

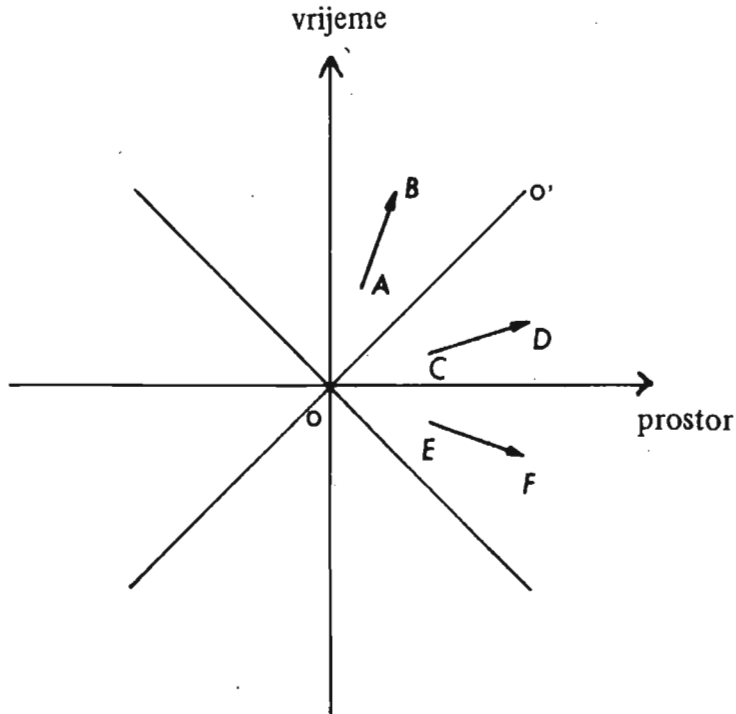
To nam je još lakše predstaviti ako zamislimo nategnutu gumenu membranu na kojoj stoji teška kugla manjih dimenzija. Na tom mjestu, membrana će se ulegnuti i eto nam tražene krivine (sl.5.18).

Ajnštajn i Rozen pokazali su da postoji mogućnost da crna jama može da predstavlja vrata u drugi svemir koji postoji paralelno sa našim. Na slici 5.19 je takva moguća geometrija prostora-vremena oko crne jame. Ovaj hipotetski "prolaz" u drugi svemir obično se naziva Ajnštajn-Rozenov most. Dakle, po tom gledištu, crna jama bila bi neka vrsta spojne tačke između dva nezavisna svemira. Po drugima, pak, crna jama može da spaja dvije vrlo udaljene tačke ovog našeg svemira. Shematski prikaz ove mogućnosti dat je na slici 5.19.



Sl.5.19. Ajnštajn - Rozenov most.

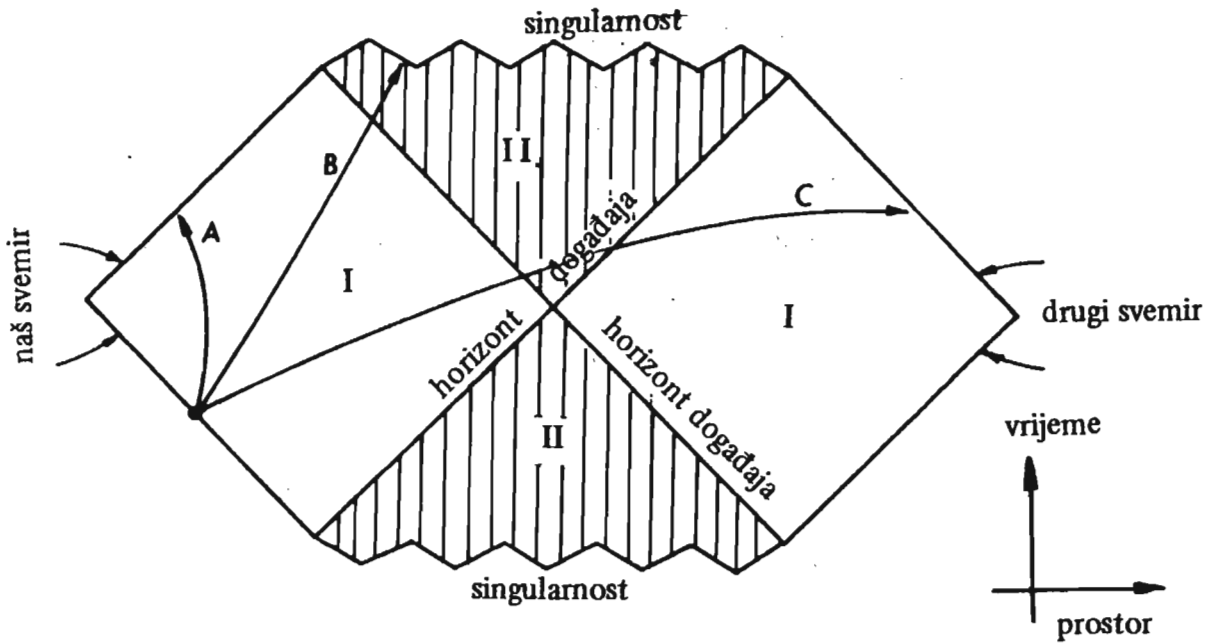
M.D.Kruskal je 1960. godine objavio svoje rezultate istraživanja prirode prostora-vremena na čitavom putu do singularnosti. Njemu pripada zasluga za uvođenje specijalnih dijagrama kojima je lako prikazivati neke od fenomena o kojima govorimo. Za formiranje Kruskalovog dijagrama koristimo vertikalnu osu kao osu vremena, a horizontalnu kao osu udaljenosti, odnosno, neke mjere prostora. Na slici 5.20 vidimo prikaz ovog dijagrama.



Sl.5.20. Kruskalov dijagram.

Ako na vertikalnu osu nanese sekunde vremena, a na horizontalnu put koji svjetlost pređe za jednu sekundu, tj. približno 300 000 km, tada će nam linije koje pod uglom od  $45^\circ$  prolaze kroz centar pokazivati kretanje svjetlosti. Zamislimo li sada nekog putnika koji se kreće po našem dijagramu, tada ćemo moći da odredimo pravce u kojima se on može kretati i one u kojima ne može, koji su nam zabranjeni. Kretanje pod uglovima većim od  $45^\circ$  (npr. put A-B) je vremensko kretanje i naš putnik će u velikim vremenskim intervalima preći razmjerno male puteve. Kretanje smjerom O-O' je kretanje brzinom svjetlosti, dok svi putevi koji su kao C-D i E-F nagnuti pod uglom manjim od  $45^\circ$  u odnosu na horizontalnu osu nisu dozvoljeni. Putnik bi se tu kretao brzinom većom od brzine svjetlosti, jer bi za kratko vrijeme prelazio ogromna rastojanja. Ovakvo kretanje nazivamo prostornim.

Koristeći ovakvu analizu, možemo konstruisati Kruskalov dijagram nerotirajuće sferične crne jame. Čitav "naš" svemir je predstavljen na lijevom dijelu crteža (sl.5.21). Desno je "drugi" svemir. Singularnost je označena



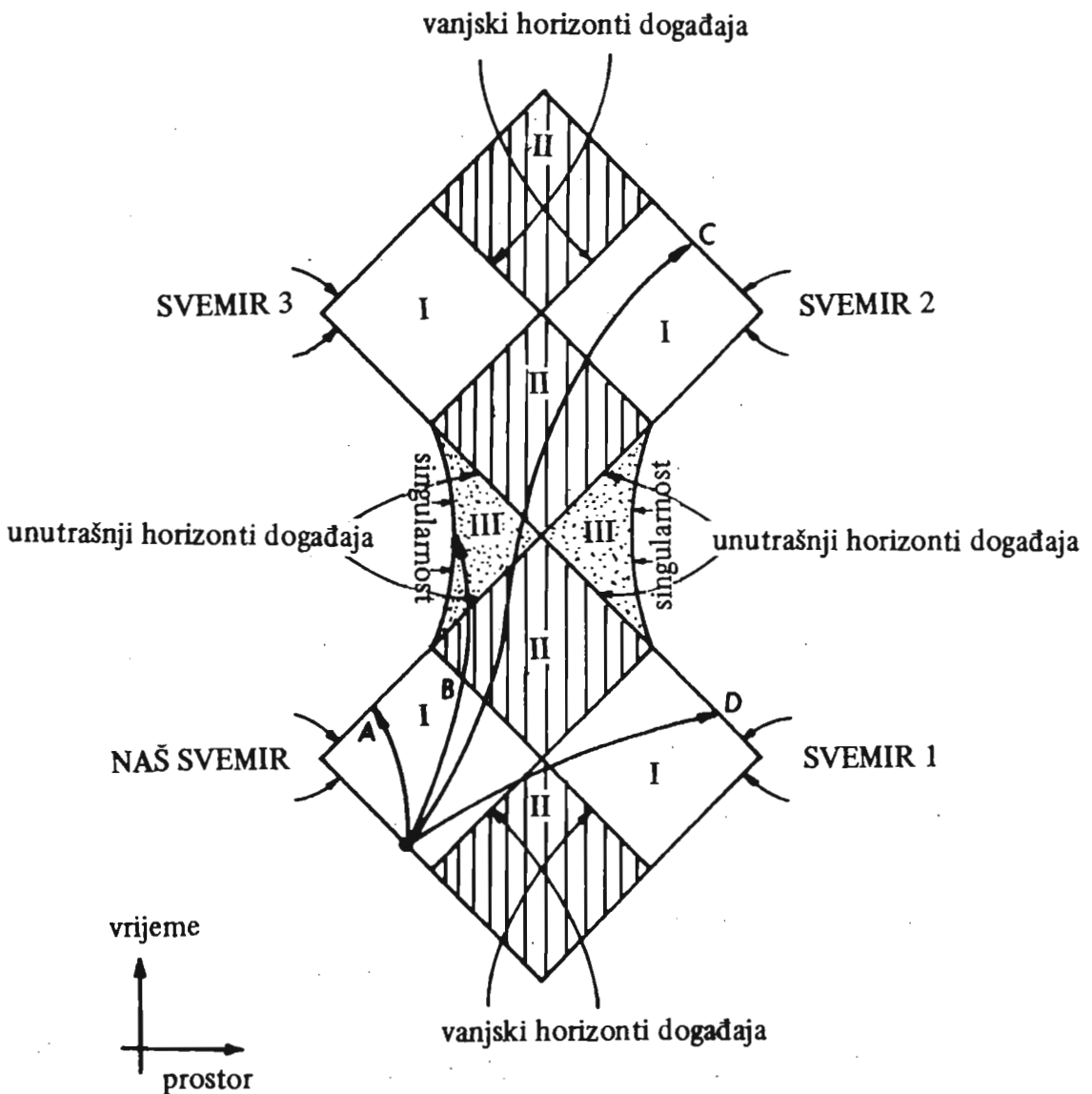
SL.5.21. Kruskalov dijagram Švarcšildovog rješenja nerotirajuće sferične crne jame.

talasastom linijom, a horizont događaja predstavljaju dvije linije koje se presjecaju pod uglom od  $90^\circ$ . One praktično dijele prostor-vrijeme na dva različita tipa oblasti. Zone označene sa I predstavljaju sve što je van horizonta događaja. Jedna takva oblast je smještena između nas i horizonta događaja, a druga između horizonta događaja i "drugog" svemira. Oblasti označene sa II imamo dvije i nalaze se između horizonta događaja i singularnosti. Na dijagramu 5.21 prikazana su tri moguća kretanja, A, B i C. Put A je siguran, on je vremenski i putnik bi samo prošao blizu crne jame. Putovanje B je također dozvoljeno, ali razorno po putnika. On će pasti ka singularnosti i biti trenutno uništen. Putovanje C, pak, nije razorno u tom smislu, ali je nemoguće, jer se radi o prostornom putovanju na koje bi se putnik morao kretati brže od svjetlosti, što je nemoguće. Jednom se našavši unutar horizonta događaja, astronaut ne bi mogao više komunicirati sa vanjskim svijetom. Prema tome, ako bismo željeli letjeti u drugi svemir, morali bi to činiti brzinom većom od brzine svjetlosti, a to je nemoguće.

Sav ovaj opis vrijedi za nerotirajuću sferičnu crnu jamu koja je samo teorijski model. Svuda u svemiru mi srećemo isključivo rotirajuće objekte. Duže vremena bio je problem naći jednačine koje bi opisivale rotirajuću crnu jamu, dakle, realno tijelo. 1963. godine R.P.Kerr je našao rješenje. Ono što se odmah primjećuje u Kerr-ovom rješenju je činjenica da imamo dva horizonta



dogadaja. 1967. godine Boyer i Lindquist daju Kruskalov dijagram za Kerr-ovo rješenje. Kao što se na dijagramu 5.22 vidi, horizont dogadaja dijeli čitav prostor-vrijeme na tri vrste oblasti. Tip I su sve oblasti između naših (ili nečijih drugih) svemira i prvog horizonta dogadaja. Druga vrsta oblasti (II) su one koje su smještene između prvog i drugog horizonta dogadaja. Treća vrsta oblasti (III) je ona između drugog horizonta dogadaja (unutrašnjeg horizonta) i singularnosti.



Sl.5.22. Kruskalov dijagram Kerr-ovog rješenja za rotirajuću crnu jamu.

Prvo što na dijagramu možemo vidjeti je činjenica da može postojati mnogo različitih svemira. Na slici su samo četiri, ali se dijagram može ponavljati u beskonačnost, odnosno, crna jama bi mogla predstavljati spojnu tačku beskonačno mnogo svemira. Vidjeli smo da je singularnost na Kruskalovom dijagramu Švarcšildovog rješenja bila orijentisana horizontalno. To je bila trodimenzionalna prostorna singularnost. U Kerr-ovom rješenju mi imamo posla sa dvodimenzionalnom vremenskom singularnošću, što iz temelja mijenja neke stvari.

Posmatrajmo opet putovanje našeg astronauta, sjetivši se samo da su dozvoljena samo vremenska putovanja. A je dozvoljeno i bezopasno. Put B astronauta će kroz prvi i drugi horizont događaja odvesti pravo na singularnost, gdje će biti uništen. Ako astronaut izabere put C, tada uopšte neće doći u situaciju da bude uništen singularnošću. Prošavši kroz oblast II i III, on će se naći u nekom drugom svemiru. Pošto postoji bezbroj mogućih putovanja kao što je C, astronaut može otputovati u beskonačno mnogo svemira. Na kraju napomenimo da je put D nemoguć, jer bi bio prostorni i zahtjevao bi brzinu veću od svjetlosne.

Fantastične mogućnosti koje pruža Kerr-ovo rješenje time se ne iscrpljuju. Astronaut se može vratiti u naš svemir ponovo, ali, izabравši ma koju tačku prostora-vremena u kojoj želi završiti putovanje. Ili, to praktično znači da bi on tako mogao putovati kroz vrijeme, vrativši se, recimo, milijardu godina u prošlost, ili otišavši milijardu godina u budućnost.

Svakako da u čitavom ovom razmatranju ima dosta teorijskih špekulacija. Međutim, samo po sebi od izuzetnog značaja za naša poimanja strukture svemira i uopšte prostora i vremena, ovakvo razmatranje mora da pobudi interes. Crne jame tako postaju prvi realni svemirski objekti na kojima se mogu istraživati efekti Opšte teorije relativiteta i najnovija saznanja o gravitaciji. Naravno, prije toga potrebno je otkriti crne jame.

Zbog same činjenice da nikakvi signali iz područja ispod horizonta događaja ne mogu prodrijeti van, posmatranje crnih jama u nekom direktnom smislu nije moguće. Postoje izvjesni posredni metodi kojima je moguće doći do indikacija ili čak dokaza o postojanju ovakvih objekata. Osnovni metod koji se koristi je posmatranje sistema bliskih dvojnih zvijezda. U takvim sistemima moguće je odrediti masu nevidljive komponente čija gravitacija utiče na kretanje vidljive zvijezde. Jasno je da, ako nevidljiva komponenta ima veliku masu a nema nikakvih tragova njenog postojanja, onda je siguran kandidat za crnu jamu.

Razvoj rentgenske astronomije posljednjih godina u velikoj mjeri je uticao na tražanje za crnim jamama. Teorijski model bliskog dvojnog sistema vodi obavezno do zaključka da bi se iz tog sistema moralo odašiljati dovoljno jako rentgensko zračenje. To najlakše možemo pokazati na primjeru jedne takve zvijezde. U sazviježđu Labuda, na udaljenosti od oko 6000 svjetlosnih godina nalazi se plava supergigantska zvijezda HDE 226868. Ona je od Sunca masivnija

za nekih 30 puta, a posmatranja Uhuru satelitom pokazala su da je ta zvijezda izvor X ili rentgenskih zraka. Na osnovu pomračenja vidljive zvijezde, koja nastupaju kada se nevidljivi pratilac nađe ispred nje, određene su mase obje zvijezde. Nevidljiva zvijezda mogla bi biti oko tri i po puta masivnija od Sunca, a radius bi joj bio manji od 50 km. Uprkos malom radiusu, njena ogromna gravitacija dovoljna je da gigantsku plavu zvijezdu deformiše u oblik koji više ne liči na sferu. Iz najbliže tačke materija zvijezde pada ka pratiocu koji bi po svim osobinama mogao biti crna jama.

Nedavno je otkriveno da se intenzitet rentgenskog zračenja koje dolazi iz oblasti zvijezde HDE 226868 pored kratkoperiodičnih promjena (5.5 dana), pokazuje i dugoperiodične promjene koje se odvijaju sa ciklusom od 294 dana. Sličan period opažen je i u vidljivom dijelu spektra. Ovo je navelo Douglas Giesa-a i Thomas Bolton-a sa Univerzitetu u Torontu da pretpostave postojanje trećeg tijela (zvijezde) u ovom sistemu. Proces bi onda tekao na sljedeći način. Crna jama svojom snažnom gravitacionom silom privlači materiju plavog giganta koja padajući spiralno formira akrecioni disk. Na mjestu gdje materija direktno pada na taj disk pojavljuje se toplotna mrlja, mjesto koje intenzivnije zrači u svim dijelovima spektra, a posebno u rentgenskom području. Obzirom da je period rotacije jame oko primarne zvijezde oko 5.5 dana to i period primarne promjene intenziteta rentgenskog zračenja traje otprilike toliko. Treća zvijezda bi kružeći sa periodom od 294 dana izazivala svojom gravitacijom perturbacije u sistemu i to detektujemo kao opaženi dugoperiodični ciklus.

Naravno, ovo je samo jedna od mogućnosti koja se dobro uklapa u ono što je moguće posmatrati. I jedno je sigurno, sistem Cygnus X-1 je jedan od prvih kandidata u potrazi za crnim jamama.

Ovakvih izvora otkriveno je veći broj i gotovo svi oni koji se nalaze u našoj galaksiji potiču od bliskih dvojnih sistema. Tako postoje i drugi kandidati za crne jame, kao što su Hercules X-1. Na kraju, nije na odmet pomenuti da je u potpunom skladu sa teorijskom podlogom na kojoj počivaju crne jame i postojanje objekata sa potpuno suprotnim osobinama koje bismo mogli zvati i bijele jame.

Tu bi materija, umjesto da kolapsira, eksplodirala ogromnom snagom u vanjski prostor. Eksplozije u jedrima nekih galaksija i ogromne enegrije kvazara neki autori pokušavaju povezati sa bijelim jamama.

# Dodatak A

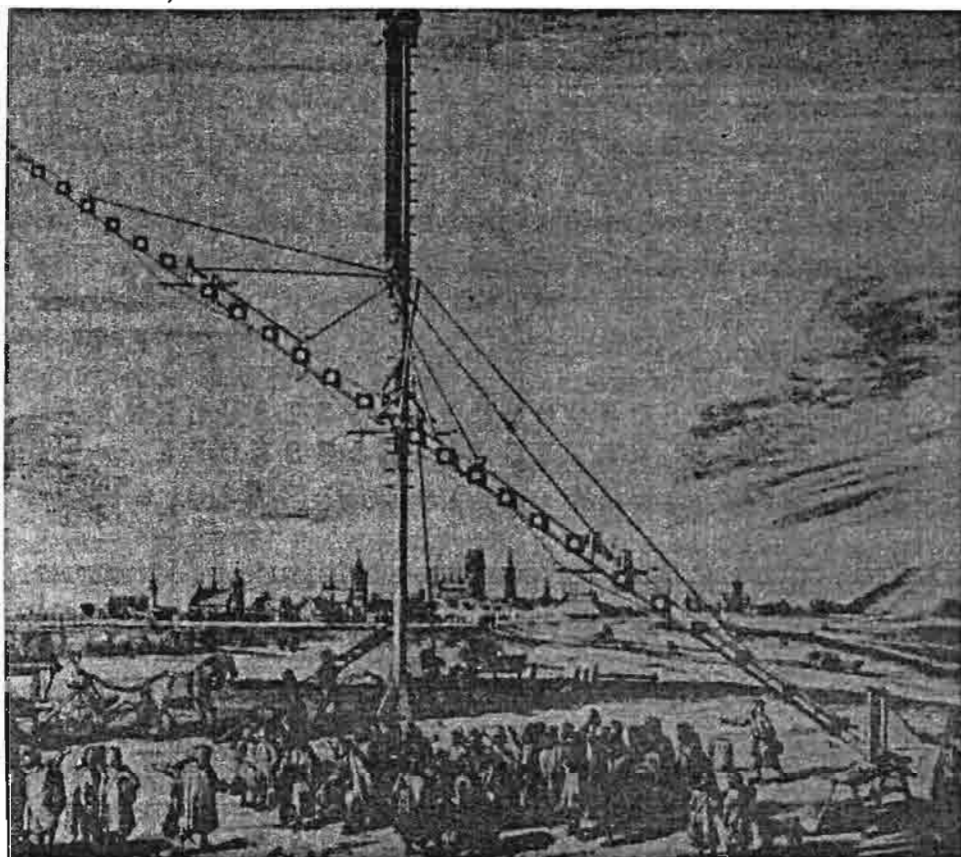
## A .     A S T R O N O M S K I   I N S T R U M E N T I A . 1     R A Z V O J   T E L E S K O P A

Holandskom optičaru Hansu Lippershey-u pripisuje se konstrukcija prvog teleskopa. Legenda kaže da su "magičnu cijev", kako se to tada zvalo, otkrila njegova djeca igrajući se sočivima iz očeve radionice. Bilo kako bilo, novost se proširila Evropom i 1609. godine došla i do Galileo Galileja koji je odmah napravio jedan teleskop za sebe. Slavni fizičar bio je i prvi čovjek koji je novi instrument uperio u nebo i time otpočeo eru teleskopske astronomije. On je otkrio da Mjesec nije savršeno polirana sfera kako je to učio Aristotel. Svojim teleskopom učio je Jupiter i njegove satelite, faze Venere i bitnu činjenicu da se Mliječni put sastoji od ogromnog broja slabih zvijezda.

Kepler je 1611. godine napravio prvu varijaciju originalne Leppershey-ove konstrukcije uvodeći umjesto bikonkavnog sočiva koje je predstavljalo okular, bikonveksnu leću koja je bila tako smještena da joj je fokus padao na isto mjesto gdje i fokus leće, koja je predstavljala objektiv.

Ovi rani teleskopi bolovali su od jake hromatske aberacije , tj. obojenja likova uzrokovanih različitim prelamanjima pojedinih talasnih dužina svjetlosti. Zbog toga se nakon prvog oduševljenja pristupilo njihovom daljem razvoju. 1630. godine Wiliam Gascoigne je u fokusnoj ravni fiksirao par unakrsno postavljenih niti da bi olakšao tačno usmjeravanje teleskopa. Ovaj pronalazak nije bio šire poznat sve dok ga 1665. godine nije ponovo oživio Picard. Značaj ovog otkrića je u tome što je njime i najmanji teleskop tog doba bio 10 puta precizniji u mjerenju položaja nebeskih tijela od najboljih mjerenja koja je vršio Tiho de Brahe bez optičkih pomagala.

Već spomenuti problemi sa hromatskom aberacijom vodili su konstrukciji veoma dugih instrumenata sa enormno velikim fokusnim rastojanjima. Korišteni su veliki jarboli koji su nosili komplikovan sistem poluga i užadi i omogućavali usmjeravanje objektiva, odnosno okulara. Tako je teleskop Johannes-a Havelius-a iz druge polovine 17. vijeka bio dug oko 40 metara (vidi sliku A1).



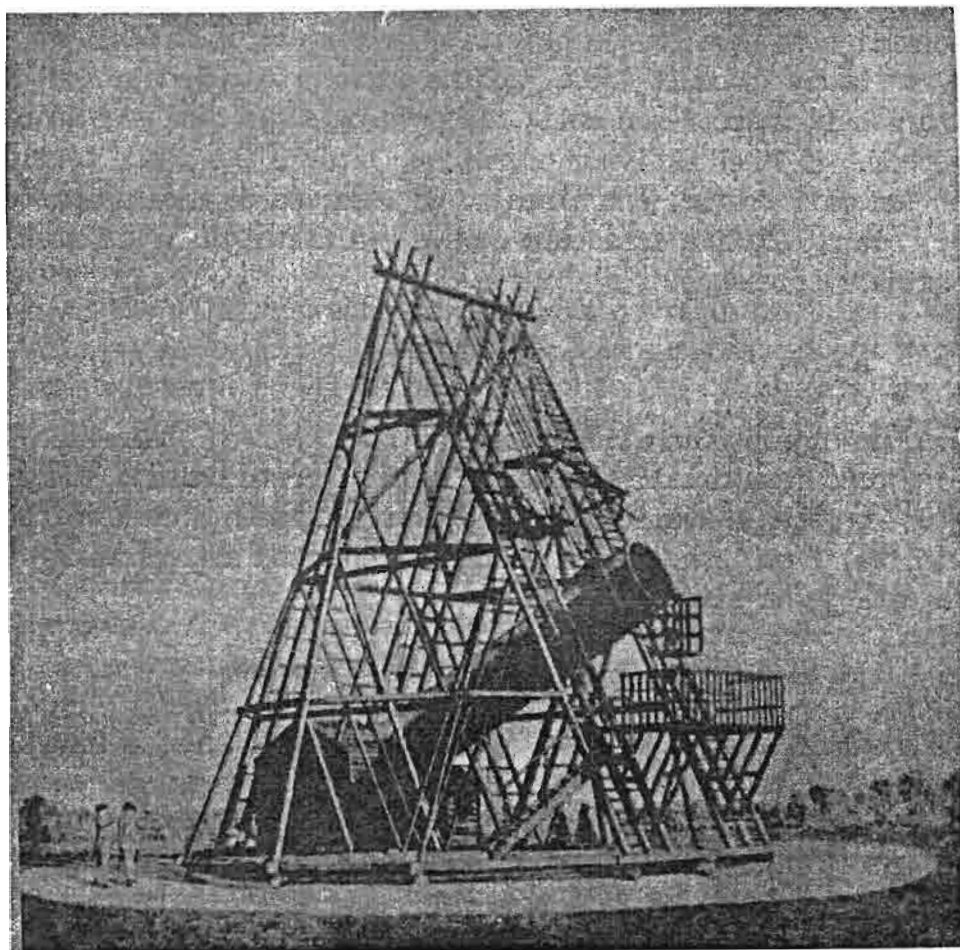
Sl.A1. Teleskop J. Hevelius-a.

Oko 1660. godine Isaac Newton je predložio drugu moguću optičku konstrukciju teleskopa. On je načinio prvi teleskop sa ogledalima - reflektor. Ovaj prvi Newton-ov teleskop bio je malen i imao prečnik od 3.5 cm i fokus od 16.5 cm. Glavno ogledalo je bilo od metala izdubljeno u konkavni paraboloid. Za slanje svjetlosnih zraka prema okularu korišteno je ravno ogledalo. James Gregory, škotski matematičar, uvodi negdje u isto vrijeme svoju verziju reflektora sa eliptično udubljenim sekundarnim ogledalom. 1672. godine G.Cassegrain (francuski vajar i ljubitelj astronomije), razvija teleskop reflektor sa konveksnim hiperboloidnim sekundarnim ogledalom. Ovaj tip teleskopa poznat kao Cassegrain-ov održao se do danas i predstavlja osnovu svih modernih teleskopa.

Kvalitetnija slika koju su davali reflektori doprinijela je da se za neko vrijeme potisnu refraktori. No, 1755. John Dolland proizvodi prvi ahromatski dublet tj. objektiv građen od dvije leće sa raznim vrstama stakla. Time se vršila vrlo uspješna kompenzacija hromatske aberacije.

Značajan doprinos razvoju teleskopa pripada i Williamu Herschel-u koji je, samostalno, pored bavljenja astronomijom, izrađivao i teleskope reflektore. Njegov najveći instrument bio je prečnika 120 cm. Dugo vremena je

predstavljao najveći teleskop ikada napravljen. 1845. godine William Parsons, poznatiji kao Lord Ross, konstruisao je džinovski teleskop prečnika 180 cm.



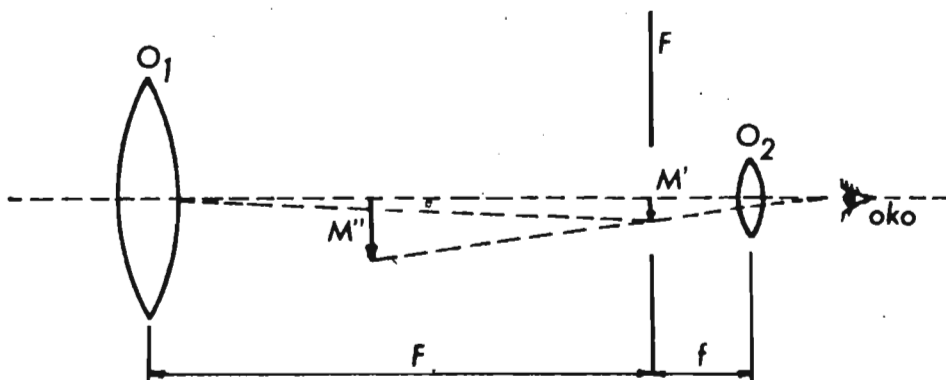
Sl.A2. 120 cm teleskkp W. Herschel-a.

Ovi rani reflektori imali su metalna ogledala koja nisu mogla da pruže visok kvalitet a posebno su bila podložna lošim uticajima temperaturnih promjena, pri kojima im se mijenjala krivina i fokus. Takođe, tadašnji nivo mehanike nije dozvoljavao konstrukciju velikih i dovoljno kvalitetnih montaža, koje bi nosile velike reflektore. Sve to je vodilo ponovnoj renesansi refraktora koji svoj vrhunac doživljavaju u 19. vijeku. Tako, Josef Fraunhofer pravi izuzetno kvalitetne objektivne, a pominju ga i kao oca poznate njemačke ekvatorijalne montaže, koja se i danas široko koristi za manje i srednje teleskope. Fraunhoferove teleskope su koristili i tadašnji veliki astronomi Wilhelm Struve (prvo mjerenje paralakse jedne druge zvijezde - Vege) i Friedrich Bessel koji pored ostalog određuje paralaksu zvijezde 61 Cygni.

William Huggins, 1864. godine, u Londonu, vrši prva spektralna posmatranja zvijezda i maglina. Izgradnjom refraktora, prečnika 102 cm, za opservatoriju Yerkes završena je era velikih refraktora. Težina objektiva izaziva takve deformacije da nema smisla praviti objektivne većih dimenzija. Karl fon Steinheil i Leon Foucault 1850. godine prave prva ogledala od staklenih diskova izbrušenih na potreban oblik. Ta prva ogledala hemijski su bila presvučena srebrom, kao reflektivnom površinom. Staklo ima dobre termičke osobine, jer ima mali koeficijent širenja. Od tada, pa do naših dana teleskopirefleksori, sa ogledalima izrađenim od sve kvalitetnijih vrsta stakla, dominiraju u svijetu teleskopa.

## A . 2    T E L E S K O P I    R E F R A K T O R I

U uvodnom dijelu pomenuli smo kako je tekao razvoj teleskopa. Moderni refraktori u osnovi su ostali isti kao i njihovi prethodnici. Tokom stoljeća došlo je do korištenja kvalitetnijih objektiv (građenih od kombinacije dva ili više sočiva) i okulara. Shema nastanka slike kod astronomskog teleskopa refraktora data je na slici A3.



Sl.A3. Nastajanje slike kod teleskopa refraktora.

Objektiv označen sa  $O_1$  daje u fokusnoj ravni lik dalakog predmeta  $M''$ . Lik je obrnut, realan i umanjen. U istoj fokusnoj ravni nalazi se fokus okulara  $O_2$ . Okular uvećava ovaj lik tako, da daje uvećani obrnuti imaginarni lik  $M'$ . Objektori refraktora su ahromatski, odnosno građeni iz dva sočiva, tako da je hromatska aberacija korigovana. Za poboljšanje kvaliteta slike u tubusu (cijev gdje su smješteni optički dijelovi teleskopa) obično se postavlja i nekoliko zaslona (blendi) koje odsjecaju rubne zrake, jer je svjetlost koja prolazi kroz središnje dijelove sočiva manje podložna raznim iskrivljenjima i aberacijama.

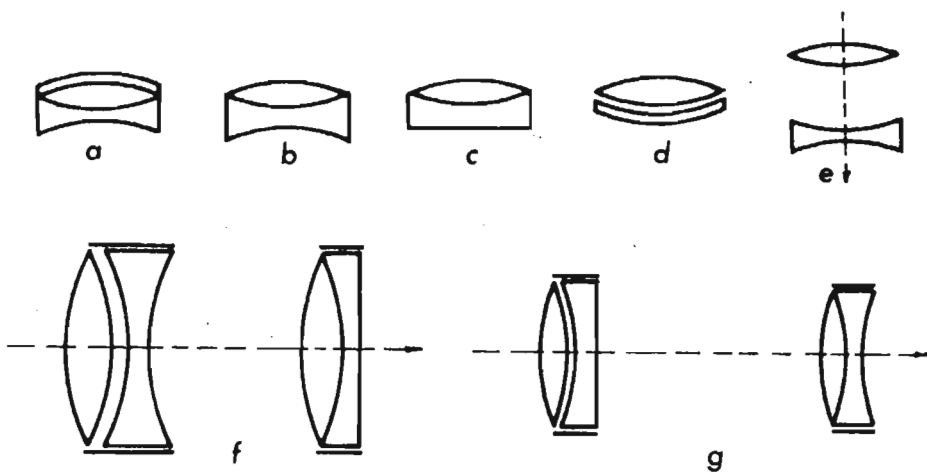


Okular se nalazi na drugom kraju teleskopa. Građen je iz dva sočiva, a uloga mu je da uveća lik što ga stvara objektiv. Uvećanje teleskopa definiše se kao odnos fokusne daljine objektiva i fokusne daljine okulara, odnosno:

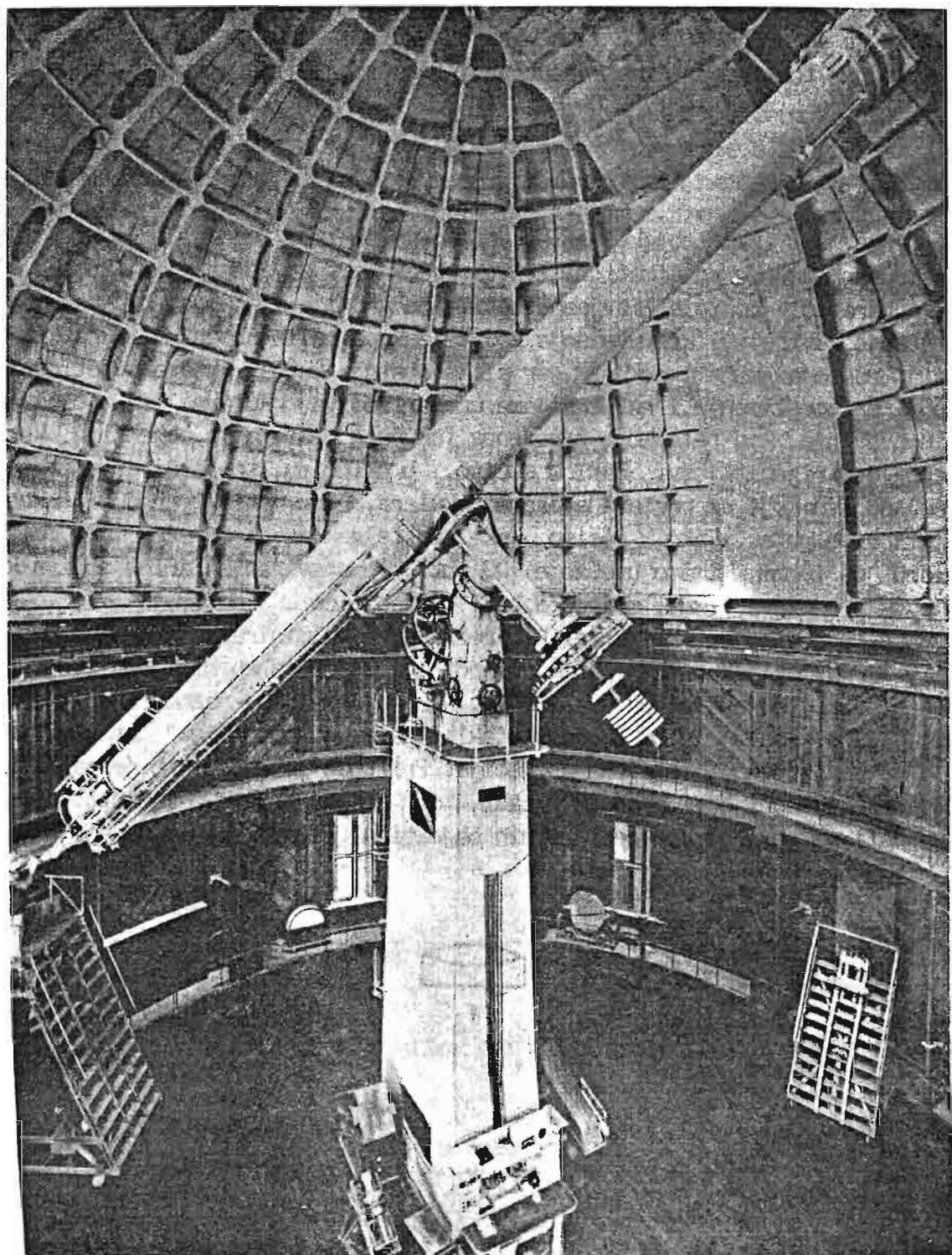
$$U = \frac{F}{f}$$

Ovdje je  $F$  fokus objektiva, a " $f$ " fokus okulara. Znači, jednim istim teleskopom možemo postizati različita uvećanja u zavisnosti od izbora okulara. Naravno, postoje izvjesne optimalne granice kretanja tih uvećanja. Korištenje suviše velikih uvećanja kod teleskopa malih prečnika i kratkih fokusnih rastojanja nema svrhe, jer slika postaje mutna, dosta svjetlosti se izgubi pri prelamanju i refleksijama unutar sočiva okulara. Za postizanje većih uvećanja, kod teleskopa određenog fokusnog rastojanja objektiva, korisnije je upotrijebiti tzv. Barlow sočivo. U principu, to je divergentno (rasipno) sočivo koje se postavlja ispred okulara. Ono optički produži fokus za dva ili više puta. Tako, recimo, ako kod teleskopa sa fokusom 1000 mm, pri okularu od 10 mm, imamo uvećanje 100 puta, postavljanje Barlow sočiva koje dva puta produžava fokus, možemo dobiti uvećanje od 200 puta.

Upotreba i konstrukcija velikih refraktora kulminirala je, kako smo već rekli, u 19. vijeku. U praktičnoj upotrebi najčešće su bili korišteni (a i danas je tako) objektivni od dva sočiva. Tu su pravljene raznovrsne kombinacije, jedno sočivo je od "crown" stakla, a drugo od "flint" stakla, zbog želje da se izbjegne hromatska aberacija. Pri tome je kod nekih jedna od ovih vrsta stakla naprijed, a druga pozadi, dok je kod drugih, obrnuto. U nizu slika dati su neki od upotrebljivanih objektiv (sl.A4).



Sl.A4. Razni tipovi upotrebljivanih objektiv.



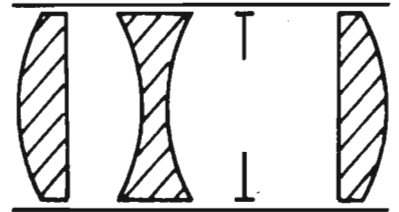
Sl.A5. Teleskop refraktor Lick opservatorije sa prečnikom objektiva 91. cm.

Za vizuelna posmatranja kod velikih teleskopa obično se koriste Clark-ovi objektiv (objektiv "e" na slici A4). Ovakve objektivne imale su ili još imaju opservatorija u Pulkovu (760 mm prečnik), Lick-ova (prečnik 916 mm) i Yerkes-ova (prečnik 102 mm). Ovaj posljednji teleskop je i najveći refraktor koji je ikada napravljen. Sve ih je konstruisao čuveni američki graditelj teleskopa Alvan Clark. 1840. godine Petzval je uveo u astronomiju svoj čuveni dublet (označen sa "f" na sl. A4). To je bio prvi fotografski objektiv proračunat za snimanje portreta. No, ubrzo je, praktično neizmijenjen, ušao u astronomsku praksu kao astrografski dublet. U ovoj kombinaciji prva i zadnja leća su od kron stakla, a unutrašnje su od flint stakla. Ovaj objektiv dobro ispravlja sve aberacije, a astigmatizam je smanjen. Obično daje polje prečnika 5-10°.

1894. godine uvode se objektiv sa tri sočiva koji se koriste uglavnom za potrebe astrofotografije. Najkvalitetniji je tzv. Cooke-ov triplet, koga je razradio Taylor. Vanjska sočiva su mu građena iz kron, a srednja od flint stakla. Spadaju u tzv. anastigmat. Većina aberacije kod njih je odlično ispravljena. Astronomska opservatorija u Sarajevu posjeduje dvostruki astrograf za koji se koriste objektiv tipa Taylor-Hobson-Cooke, odnosno, pomenuti triplet. Cooke-ov triplet je prikazan na slici A6.

Kasnije potrebe vodile su uvođenju objektiv od četiri i više sočiva. Najpoznatiji su Zeiss Tessar, Dagmar, Rosss-ov objektiv itd.

Izrada refraktorskih teleskopa većih prečnika od pomenutog Yerkes-ovog nije ni poduzimana zbog ogromnih poteškoća pri obradi optičkih komponenti, a na tim prečnicima smetnje počinje da pravi i efekat savijanja sočiva usljed sopstvene težine. U amaterskoj astronomiji danas se široko primjenjuju refraktori do 100 mm prečnika. Oni većih objektiv su znatno skuplji, pa se umjesto njih uglavnom koriste znatno jeftiniji reflektori.

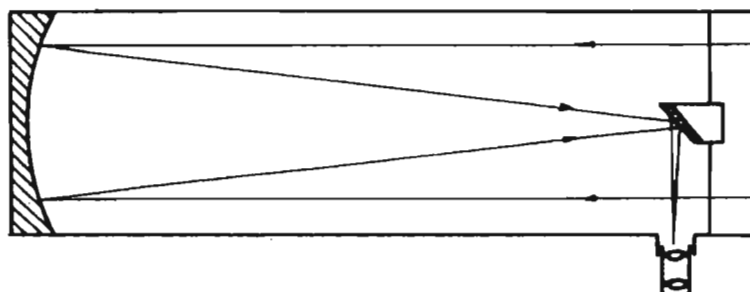


Sl.A6. Cooke-ov triplet.

### A . 3    T E L E S K O P I    R E F L E K T O R I

Ovaj tip teleskopa ima mnoga preimućstva nad pomenutim refraktorima. Oni su potpuno lišeni hromatske aberacije, jer kod njih nema prelamanja svjetlosti. Kao objektiv koriste se izbrušena i metalizirana ogledala. Nekada su se ogledala prevlačila srebrenim slojem. Međutim, nakon otkrića vakuumske prevlačenja pomoću aluminijuma, ova metoda danas se najviše koristi. Aluminijum je mnogo postojaniji od srebra.

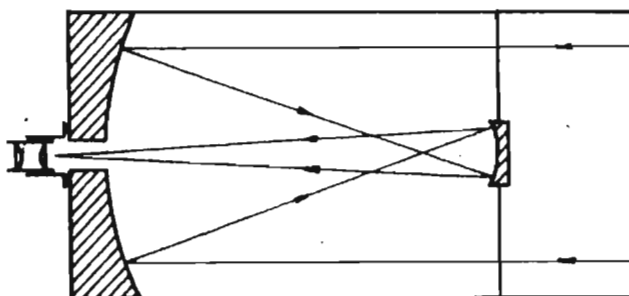
Za ogledalo se uvijek bira staklo sa što manjim koeficijentom termičkog širenja. Osnovni tip reflektora koji je široko rasprostranjen u amaterskom



Sl.A7. Njutnov teleskop.

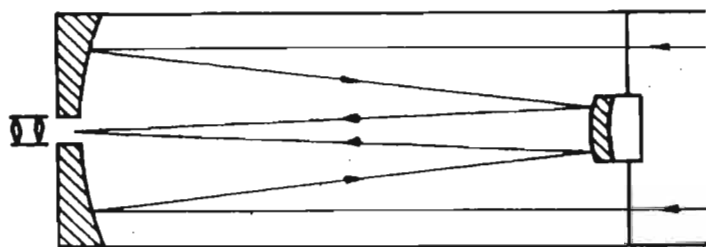
radu je Njutnov. Na dnu tubusa on ima ogledalo, a na početku je malo ravno ogledalo elipsastog oblika. Pomoću njih se svjetlost skreće i pada na okular. Sistem Njutnovog teleskopa je prikazan na slici A7.

Druga vrsta reflektora je Gregorijev. Kod njega je objektiv (ogledalo) probušen, a sekundarno ogledalo je konkavno i smješteno u optičkoj osi, ali dalje od fokusa primarnog ogledala (sl.A8).

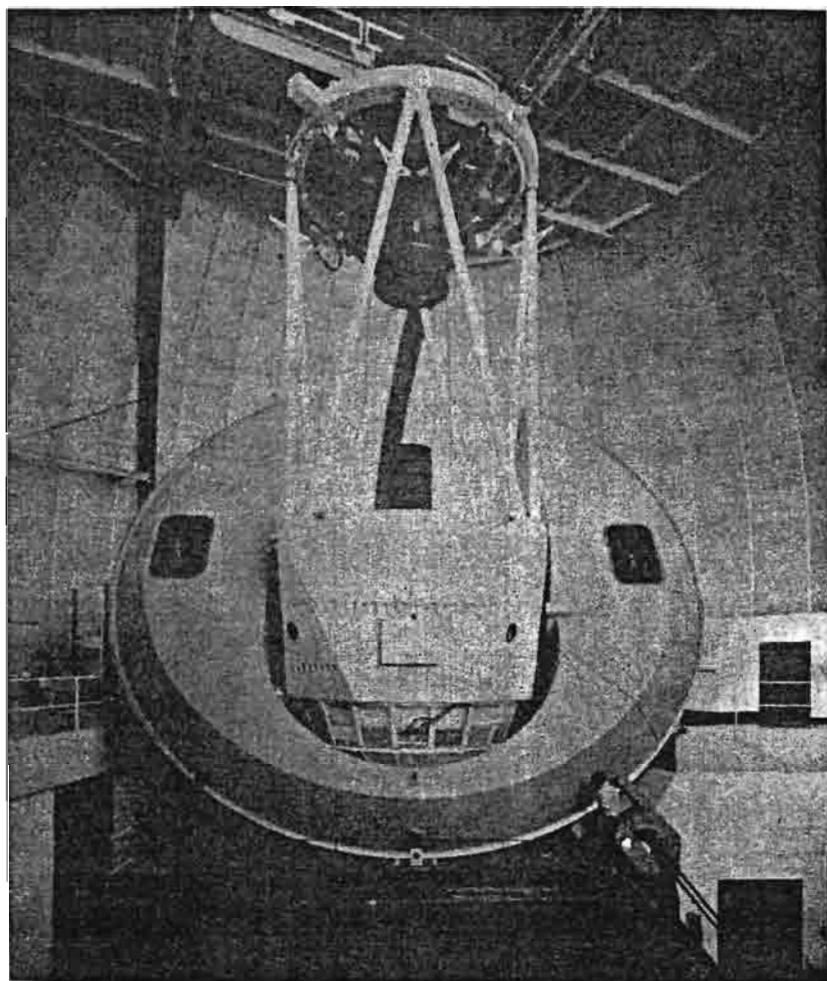


Sl.A8. Gregorijev reflektor.

Danas je, specijalno kod velikih teleskopa, u širokoj upotrebi Kasegrenov tip reflektora. I on ima probušeno primarno ogledalo, a sekundarno mu je konveksno u hiperboličnom obliku. Žižna daljina primarnog ogledala obično je mala, ali je sekundarno ogledalo produva za potreban broj puta (Sl. A9).



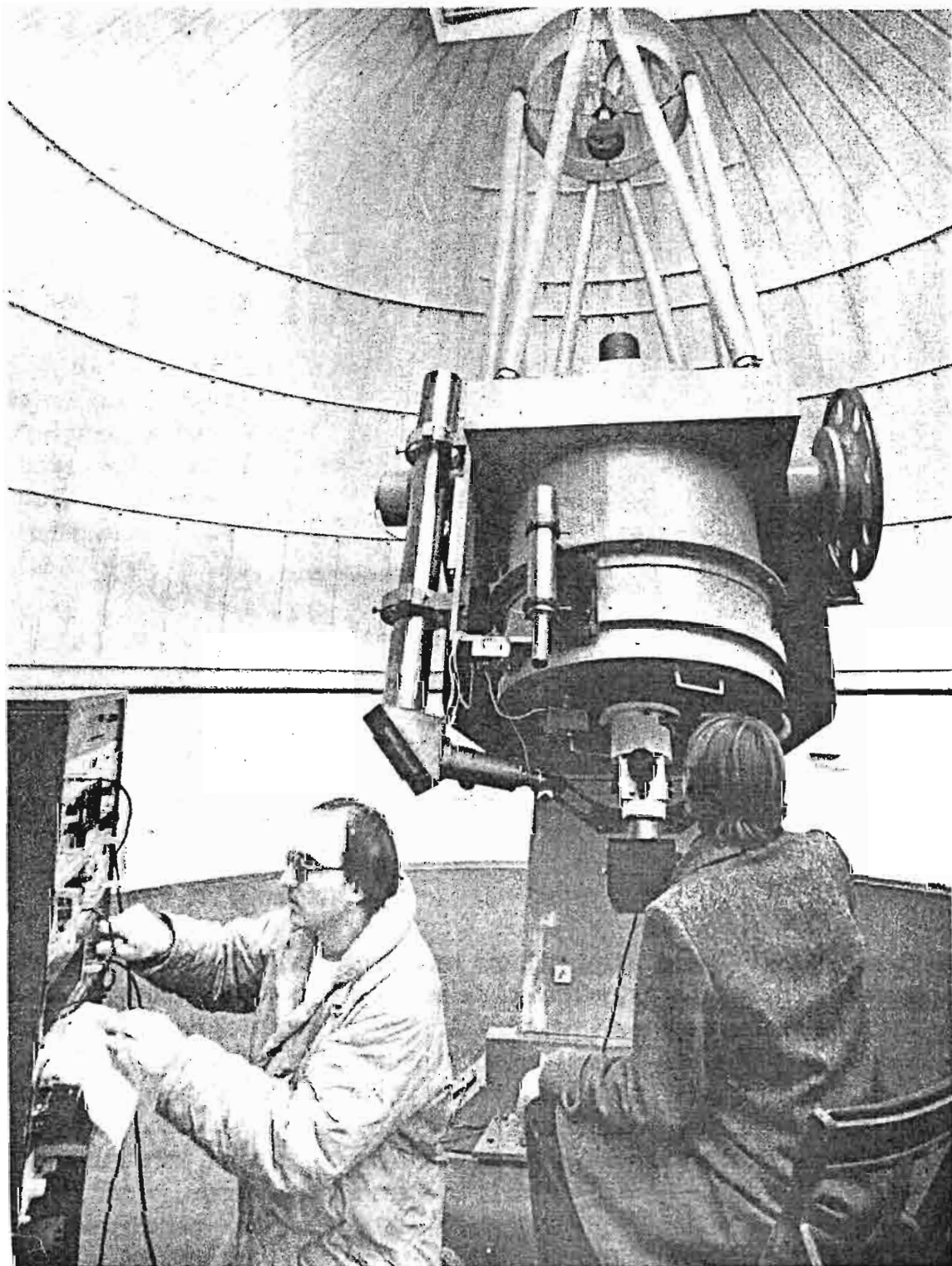
Sl.A9. Kasegrenov reflektor.



Sl.A10. 3.8 m Mayall reflektor opservatorije Keat Peak u SAD.

Veliki reflektori obično imaju zajedno Kasegrenove i Kudeove sisteme. Kao što je poznato, Kude sistem omogućava da se fokus, pomoću sistema ogledala, dovede kroz polarnu osu do posmatrača. Na taj način okularni dio ostaje nepokretan, dok teleskop može slobodno da se kreće za određenim objektom.

Ovi klasični reflektori, kod kojih je primarno ogledalo paraboloidne forme, imaju veoma ograničeno vidno polje i to, prvenstveno, zbog sferne aberacije i kome. Takva situacija je nametnula potrebu da se konstruišu takvi reflektorski sistemi koji bi otklonili ove nedostatke. Danas je raširena upotreba sistema Ricci-Cretien kod koga ogledala više nisu paraboloidna, odnosno, sekundarna hiperboloidna, već nešto drugačije proračunatog oblika. Korisno vidno polje je povećano, a kvalitet slike bolji. Ovaj i slični sistemi nazivaju se aplanatskim i, po mišljenju stručnjaka, njima pripada budućnost.



Sl.A11. Kasegren-Njutnov teleskop prečnika 62 cm Astronomske opservatorije u Sarajevu.



## A . 4    P A R A M E T R I    T E L E S K O P A

### A.4.1 Svjetlosna moć teleskopa

Svjetlosna moć nekog teleskopa definiše se kao odnos dijametra teleskopskog objektiva i njegove žižne daljine:

$$D/f$$

Ovaj odnos može da ima različite vrijednosti. Tako postoje svjetlosne moći  $1/2'$ ,  $1/5'$ ,  $1/4'$ ,  $1/10'$ , itd. Kod teleskopa koji služe za vizuelna posmatranja svjetlosna moć ne mora biti velika. Za astrografe, koji se koriste kod snimanja, svjetlosna moć mora biti što veća. Svjetlosna moć nekada se naziva i relativni otvor, a u angloameričkoj literaturi obično se obilježava sa, recimo,  $f/8$  ili  $f/4.5$ . To ima isto značenje kao ono gore opisano.

### A.4.2 Razdvojna moć

Kada se posmatraju zvijezde pomoću dobrog teleskopa, lako se opaža da se one ne javljaju kao tačke, već su u obliku sićušnih kružića okruženih prstenovima.

Do ove pojave dolazi se zbog poznatog efekta difrakcije svjetlosti. Kao što znamo, svjetlost je talasne prirode i, pod određenim uslovima, ta njena fizikalna priroda se manifestuje. Ovo savijanje svjetlosti ili difrakcija direktno utiče na tzv. razdvojnu moć teleskopa.

Moć razdvajanja nekog teleskopa je najmanje ugaono rastojanje pri kome se dvije bliske svijetle tačke vide odvojeno. Što je dijametar teleskopa veći, to je njegova moć razdvajanja veća. Ukoliko se, recimo, posmatra neka dvojnja zvijezda čije su komponente veoma bliske, onda njene difrakcione slike mogu da se sliju jedna u drugu. U tom slučaju, ako je moć razdvajanja teleskopa mala, mi ih nećemo vidjeti odvojene. U slijedećoj tabeli dati su podaci o nekim prečnicima teleskopa i razdvojnoj moći koju daju:

Prečnik	7.5 cm	15 cm	30 cm	60 cm
Moć razdv.	1".7	0".8	0".4	0".2

## A . 5    O K U L A R I

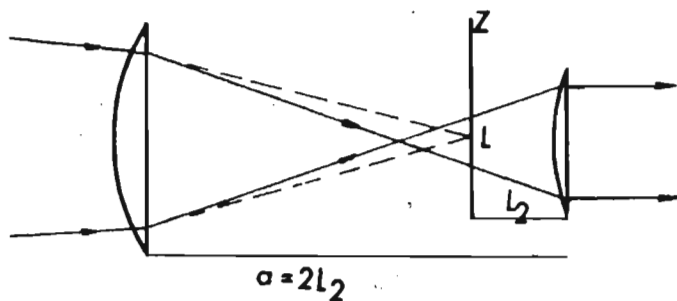
### A.5.1 Hajgensov okular

Ova vrsta okulara u astronomiji se mnogo upotrebljava. Građen je od dva plankonveksna sočiva, čije su žižne daljine obično u odnosu od 3:1 do 1.5:1.



Da bi se izbjegla hromatska aberacija, sočiva se nalaze na nekom rastojanju "a" (slika A12).

Vidno polje Hajgensova okulara dostiže  $40^\circ$ . Vidno polje okulara je ugao pod kojim oko u okularu vidi polje sa dobrom slikom. Fokalna ravan objektivna leži između sočiva koja grade ovaj okular. Zbog toga se ovaj okular ne može koristiti za mjerenje pravog lika dobijenog objektivom.

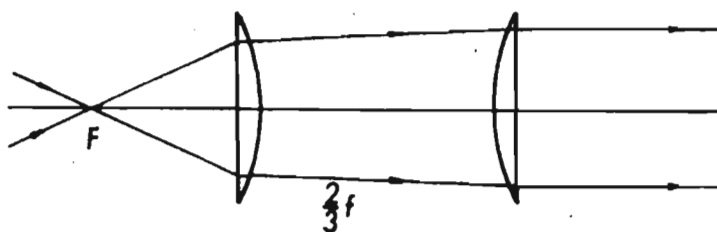


Sl.A12. Hajgensov okular.

#### A.5.2 Ramsdenov okular

On ima jednaka plan-konveksna sočiva. Ispupčene strane su okrenute jedna drugoj. Rastojanje između sočiva je  $\frac{2}{3}$  žižne daljine jednog od njih (obje su jednake). (Slika A13).

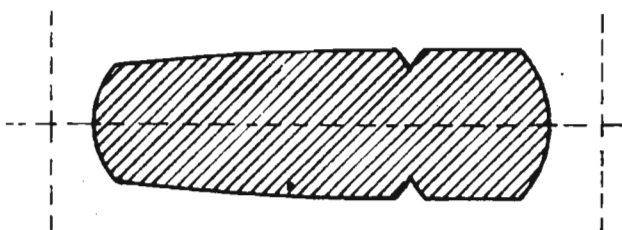
Žiža objektivna nalazi se ispred okulara u tački F. Ovaj okular može se zato koristiti za mjerenje lika koji daje objektiv. Vidno polje Ramsdenovog okulara kreće se oko  $30^\circ$ .



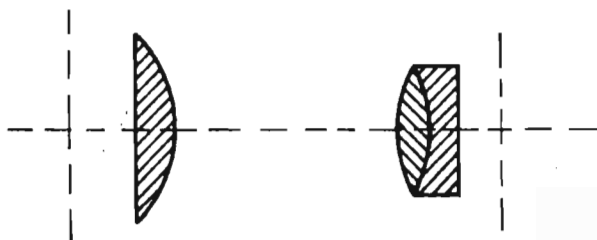
Sl.A13. Ramsdenov okular.

#### A.5.3 Okulari Toles i Kelner

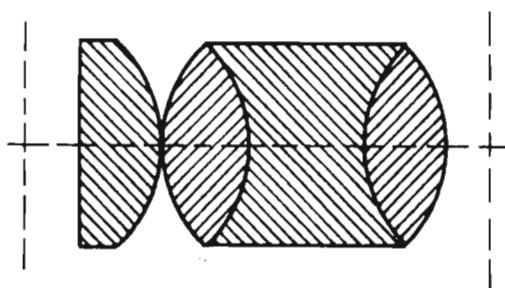
Tip okulara Toles prikazan je na slici A14. Kako se sa slike vidi, građen je od jednog sočiva specijalnog oblika. Ima vidno polje od  $12^\circ$ .



Sl.A14. Okular Toles.



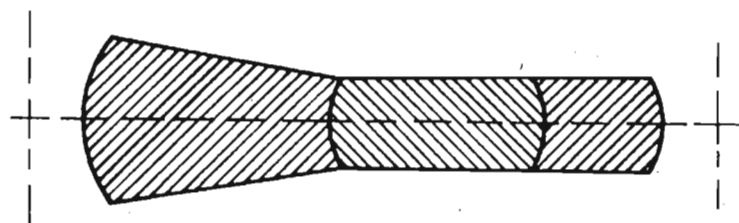
Sl.A15. Okular Kelner.



Sl. A16. Ortoskopski okular.

Kelner je tip okulara koji je hromatski veoma dobro korigovan okular. Vidno polje mu se kreće do  $40^\circ$ . Kelner predstavlja jednu modifikaciju Ramsdenovog okulara. Okular Kelner je prikazan na slici A15.

#### A.5.4 Ortoskopski okular i Monocentrik



Sl. A17. Okular Monocentrik.

Ortoskopski okular je standardni astronomski okular. Vidno polje mu ide do  $50^\circ$ . Prikazan je na slici A16.

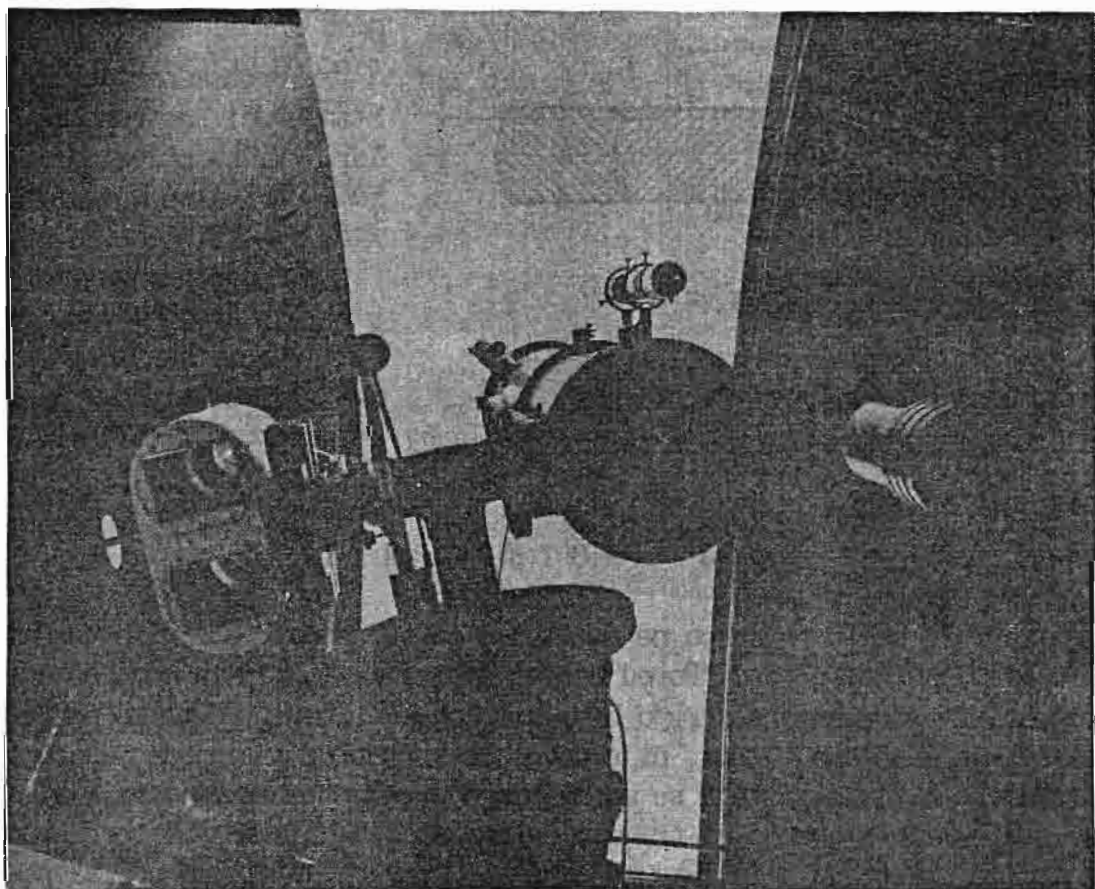
Monocentrika mnogi smatraju kraljem među okularima. Hromatska korekcija je na visokom nivou, a vidno polje oko  $25^\circ$  (Sl. A17).

## A . 6    A S T R O G R A F I

Astrografi se u principu ne razlikuju od teleskopa. Kod njih se umjesto okulara stavlja foto ploča. Pored ovoga, sočiva ili ogledala koja se koriste kao objektiv astro-kamere moraju biti visokog kvaliteta. Ukoliko se radi o refrakorskim kamerama, onda, nije dovoljno koristiti samo jedno sočivo. Astrograrski objektiv sastoji se od najmanje dva ahromatsko sočiva, a imaju dosta savremenih rješenja sa tri ili četiri sočiva koja se na proračunatim rastojanjima smještaju u ležište objektiv. Čitav takav sistem sočiva neophodan je za uklanjanje raznih grešaka koje se javljaju kod optičkih uređaja. Za potrebe astrofotografije najpogodniji su kvalitetni objektiv, kao što su ranije pominjani tripleti Cooke-a i drugi sistemi od više sočiva. Kada se raspolaže jednim kvalitetnijim objektivom, onda od njega nije teško načiniti kameru. Napravi se tubus četvrtastog ili cilindričnog oblika. Na jednom kraju učvrsti se objektiv, a na drugi, foto-aparat ili kasetu za plan film. Fotografski aparat (poželjno je da je refleksni) pogodniji je zbog većeg izbora filmskih materijala raznih osjetljivosti, a i snimanje je lakše nego kad se radi sa plan filmom. Zbog toga, ako je objektiv kojim se raspolaže manjeg otvora, onda je svakako bolje služiti se aparatom. Kod objektiv sa većim

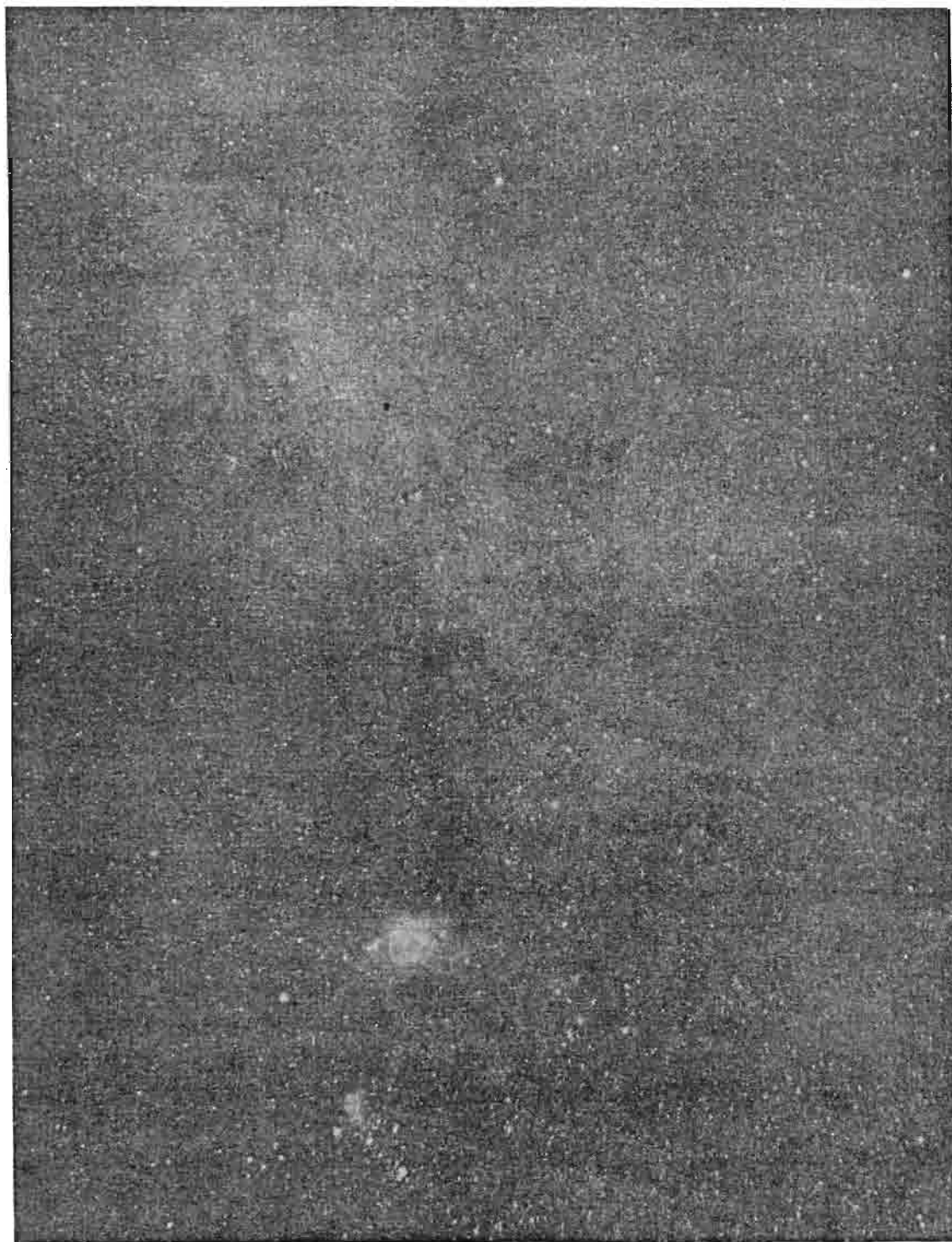
dijametrom i fokusnim rastojanjem bolje je napraviti kameru za kasete sa plan filmom. Na pločama će biti snimljen znatno veći dio neba nego kada bismo se koristili aparatom.

Da bi se moglo snimiti nebo dugim ekspozicijama, potrebno je imati teleskop sa dobrim časovnim mehanizmom. Što kamera ima manji fokus to su zahtjevi za preciznost mehanizma manji. Na teleskopu koji je ekvatorijalno montiran, paralelno sa kamerom, učvrsti se neki teleskop. On se u ovom slučaju naziva instrument vodič, i u njegovom okularnom dijelu smješten je nitni krst. Izrada nitnog krsta je jednostavna, ako se radi o malom teleskopu i okularu koji ne daje veliko uvećanje.



Sl.A18. Dvostruki astrograf Astronomske opservatorije u Sarajevu. Desno je teleskop vodič, a lijevo dvostruka kamera.

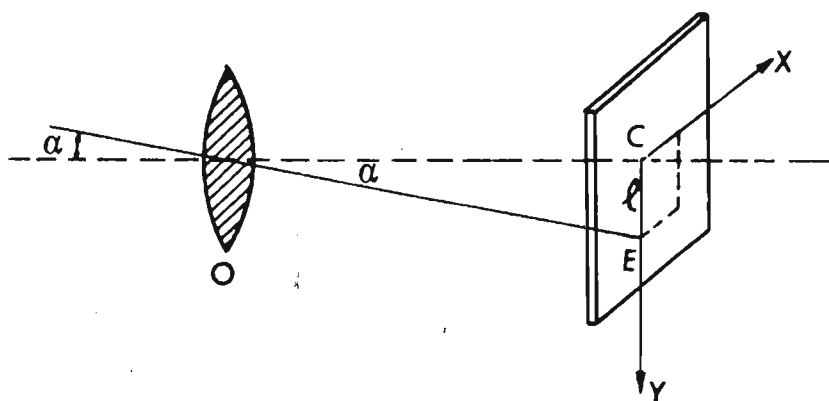
Jedna od važnih veličina kod astro-kamere je razmjer lika. Treba, naime, znati kakav je odnos između rastojanja dvije tačke na negativu (izraženo u mm) i, rastojanje istih tačaka na nebu u uglovnoj mjeri. Posmatračemo objektiv kamere, negativ u fokalnoj ravni i neke dvije tačke na negativu.



Sl. A19. Ovaj snimak Mliječnog puta načinjen je dvostrukim astrografom opservatorije u Sarajevu, na Kodakovu emulziju osjetljivu na crveni dio spektra. (Fotografija Astronomske opservatorije u Sarajevu. Snimio M.Muminović).

Kao što se na slici A20 vidi, linearno rastojanje  $l$  u fokalnoj ravni između dva objekta C i E, čije je ugaono rastojanje  $\alpha$  biće:  $l = F \cdot \operatorname{tg} \alpha$  ili:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{l}{F}$$



Sl. A20. Razmjer lika kod astro-kamere.

Ako je ugao mali, tada vrijedi:

$$\text{Za } 1^\circ \quad l = \frac{F \text{ (cm)}}{57.3}$$

$$\text{Za } 1' \quad l = \frac{F \text{ (mm)}}{3438}$$

$$\text{Za } 1'' \quad l = \frac{F \text{ (mm)}}{206265}$$

Na ovaj način, poznavajući fokusno rastojanje kamere, možemo odrediti njen razmjer. Gornja formula vrijedi za mala rastojanja na ploči. Za mjerenje većih rastojanja na ploči treba upotrebiti formulu:

$$l = F \cdot \frac{\alpha'}{3438} \left[ 1 + \frac{1}{3} \left( \frac{\alpha'}{3438} \right)^2 \right]$$

Snimanje Mjeseca, Sunca i planeta vrši se preko običnog teleskopa. U osnovi se koriste dva načina. Jedan je snimanje u fokusu objektivna i zgodan je

za Mjesec. Drugi način je snimanje preko okulara. Kada se žele dobiti detaljniji Mjeseca i krupniji snimci planeta, onda se foto-aparat, pomoću nekog adaptera, pričvršćuje na okular. Pri tome se sa aparata skida originalni objektiv. Kod snimanja planeta, naročito kada se to vrši malim instrumentima, neophodno je imati časovni mehanizam. Jer, ekspozicije su duge nekoliko sekundi, a to je dovoljno da se planeta pomjeri i pokvari snimak.

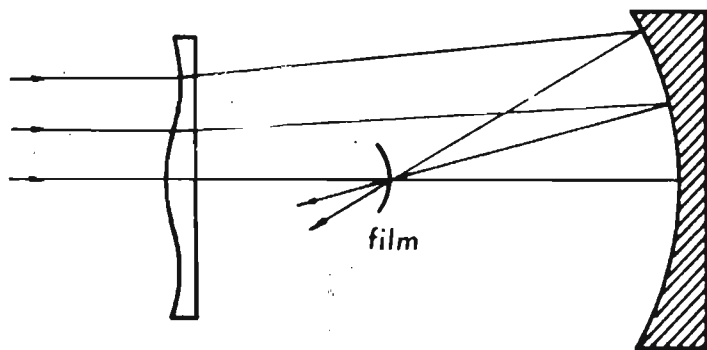
Sunce se može snimati na više načina. Moguće je direktno fotografisanje Sunca ne bijelom ekranu na koji se njegov lik projektuje pomoću okulara. Ako se snima direktno kroz okular, onda se mora koristiti neki tamni filter, a najbolje je ako se posjeduje specijalna prizma. Ta prizma propušta najjeći dio toplotnih zraka napolje, a mali dio reflektuje kroz okular do posmatrača. Sasvim blagi filter dovoljan je za uspješna snimanja i pri tome nema opasnosti od prejake toplote koja se, inače, formira u fokusu. Za Sunce se koriste filmovi slabe osjetljivosti kao što je mikrofilm.

#### A . 7 REFLEKTORSKO - REFRAKTORSKI SISTEMI

Kao što je ranije pomenuto, u savremenoj astronomiji najviše se koriste teleskopi reflektori. Kada su ogledala većih prečnika, onda se u većoj mjeri javlja sferna aberacija. Ona se djelimično može otkloniti time što se ogledalu daje paraloboidna forma.

Mogućnost upotrebe korekcionih sočiva za otklanjanje sferne aberacije odigrala je veliku ulogu u astronomiji. Danas postoje dva osnovna tipa ovakvih teleskopa. To su Šmitov i Maksutovljev. Šmit-kamera pojavila se tridesetih godina našeg vijeka. Ispred primarnog ogledala stavlja se korekciona leća specijalnog oblika. Jedna strana korekционе ploče je ravna, a druga, gledana sa strane, ima talasast oblik. Ona ima ulogu da svojom sfernom aberacijom, koja je suprotna od sferne aberacije ogledala, u potpunosti omogući da snop zraka, nakon odbijanja, padne na istu tačku (Sl. A21).

Izrada korekционе leće je prilično komplikovana. Šmitov sistem može se koristiti i za vizuelna posmatranja, ali je to uglavnom kamera za astrofotografiju. U fokalnoj ravni se stavlja film. Ovdje postoji jedna nezgoda koja se sastoji u tome što je fokalna površina Šmit kamere zakrivljena i ima oblik sfere. Ova sfera je koncentrična sa površinom ogledala, a ima radius jednak radiusu ogle-



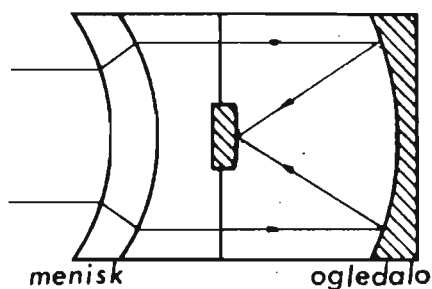
Sl. A21. Šmitova kamera.

dala. Zato se foto ploča mora napraviti u takvom obliku. To se čini tako što se ona stavlja na šablon koji odgovara krivini fokalne površine, ili se koristi specijalna Piaci-Smitova laća koja zakrivljenu fokalnu površinu preobraća u ravan.

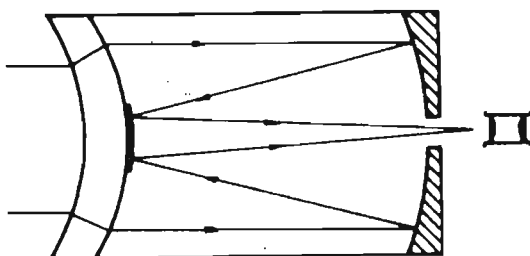
Drugo rješenje otklanjanja sferne aberacije dao je Maksutov. Ovdje se negativna sferna aberacija ogledala otklanja pozitivnom sfernom aberacijom specijalno proračunatog meniskusa. Menisk se sastoji od dvije sferne površine, tako da ga je relativno lako izraditi (Sl. A22).

Tubusi Maksutova su veoma kratki jer se menisk stavlja blizu primarnog fokusa. Meniskusni sistem može se koristiti i kao vizuelni teleskop. Na slici A23 vidi se jedan Maksutov-Kasegren. Ovakvi teleskopi imaju veoma kratke tubuse, a veliku ekvivalentnu žižnu daljinu.

I Šmit kamere i Maksutovljeve kamere imaju veliku svjetlosnu moć i zahvataju veliko ugaono polje neba. Zato se danas koriste mnogo u astrofotografiji. Najveća Šmit kamera se nalazi u Tautenbergu (DDR) sa prečnikom ogledala od dva metra. Od Maksutovljevih kamera najpoznatija je 70 cm-ska na opservatoriji Abastuman (SSR).



Sl.A22. Kamera Maksutova.



Sl.A23. Maksutov-Kasegren teleskop.

## A . 8 M O N T A Ž E T E L E S K O P A

### A.8.1 Azimutna montaža

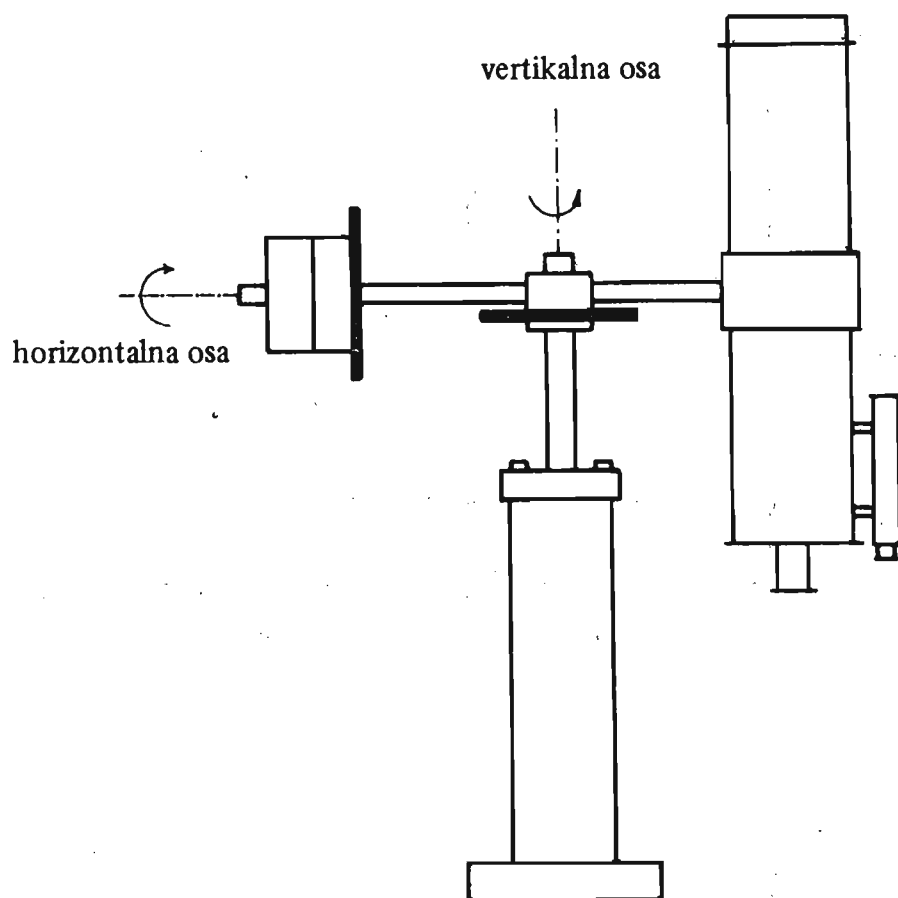
Ovaj tip montaže koristi se samo za male instrumente. Instrument se tako učvrsti da se može obrtati oko dvije uzajamno normalne ose. Jedna je vertikalna i obrtanjem teleskopa oko nje mijenjamo azimut. Oko horizontalne ose teleskop se pomjera po visini (Sl. A24).

Ose osovine su povezane sa raznim zupčanicima i pomoću njih možemo vršiti fino pomjeranje teleskopa.

### A.8.2 Ekvatorska montaža

To je danas najrasprostranjeniji vid montiranja astronomskih instrumenata. Jedna osa je uperena ka nebeskom polu i naziva se časovna osa. Obrtanjem teleskopa oko nje može se mijenjati časovni ugao ili rektascenzija.



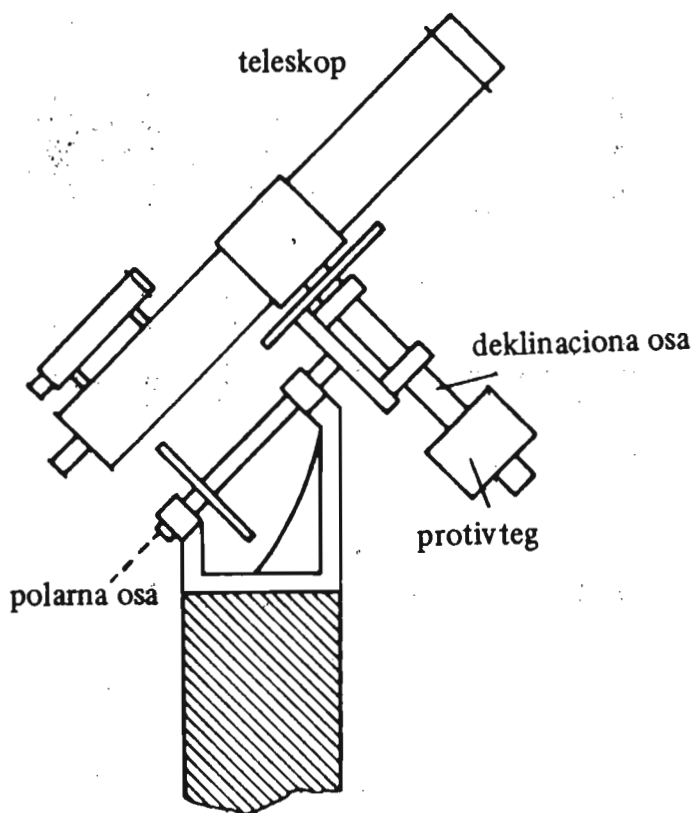


Sl. A24. Azimutna montaža teleskopa.

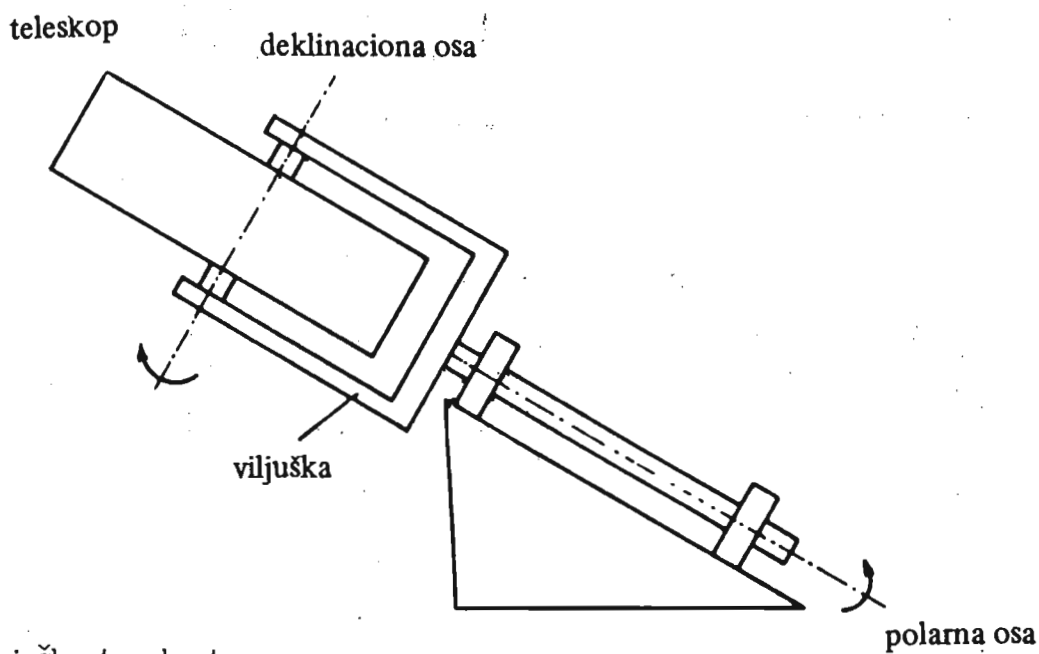
Druga osa, normalna na časovnu, je deklinaciona. Ukoliko je teleskop dobro usmjeren ka nebeskom polu, onda je, pomoću poluga za fino kretanje, moguće pratiti neki objekat pomjerajući teleskop samo po časovnoj osi.

Obično se na sklop zupčanika na časovnoj osi montira električni motor, tako da posmatrani objekat neprekidno ostaje u centru vidnog polja. Ekvatorskih montaža ima više vrsta. Jedna od najčešće upotrebljivanih vrsta, za manje instrumente, je njemačka montaža. Kao što se vidi na slici A25, sa jedne strane deklinacione ose je protivteg, a sa druge strane je teleskop. Pomjeranje po rektascenziji vrši se oko polarne ose na kojoj je zupčanik sa pužnim prenosom. Kada se radi o većim teleskopima, specijalno o reflektorima, onda je mnogo podesnija viljuškasta montaža. Kod nje nema protivtega, a teleskop je smješten između dva kraka jedne viljuške (Sl. A26). Na slici A27 je engleska ekvatorijalna montaža, oslonjena o tlo na dva stuba (Sl. A27).

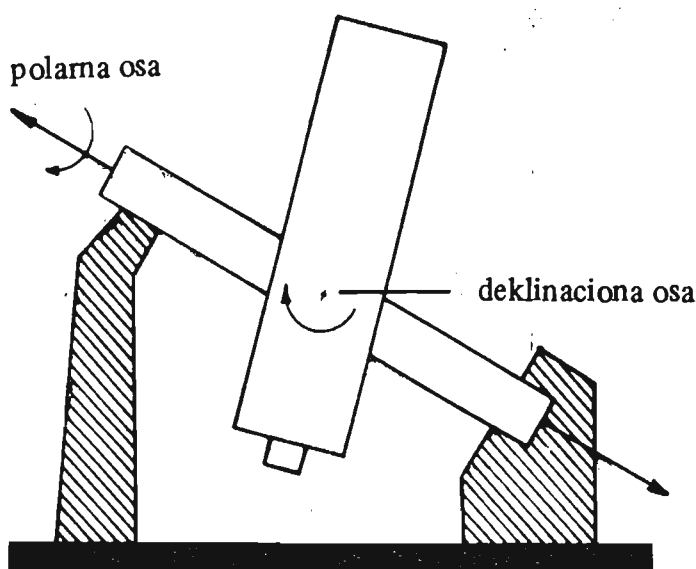
Vrlo je važno da je svaka montaža teleskopa pravilno usmjerena po azimutu i geografskoj širini, odnosno, da polarna osa leži tačno u meridijanu i bude tako nagnuta da je tačno orijentisana ka nebeskom polu. To se postiže



Sl. A25. Njemačka ekvatorijalna montaža teleskopa.



Sl. A26. Viljuškasta ekvatorijalna montaža teleskopa.

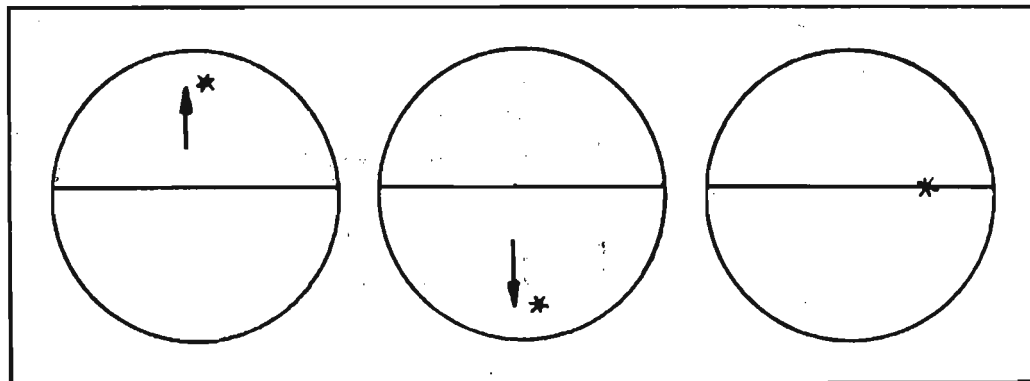


Sl. A27. Engleska ekvatorijalna montaža teleskopa.

raznim metodama zavisno od veličine teleskopa i potrebne preciznosti. Za približno namještanje može poslužiti slijedeća metoda. Teleskop se postavi približno u ravan meridijana (pravac sjever-jug), a polarna osa negne se u odnosu na horizont pod uglom jednakom geografskoj širini mjesta posmatranja. Na okular sa velikim uvećanjem postavi se nit i, eventualno, osvjetli da bi se vidjela na tamnoj pozadini neba. Okular se rotira sve dok zvijezde pri svom dnevnom kretanju ne budu išle paralelno niti. Tubus teleskopa zatim usmjerimo ka nebeskom ekvatoru u zvijezdu smještenu blizu nebeskog meridijana. Zatim se teleskop učvrsti i finim pomjernjem po rektascenziji se prati zvijezda. Usljed nepravilno usmjerene montaže može doći do slijedećih pomjerenja zvijezde. Ako se zvijezda postepeno pomjera po deklinaciji ka gore, to znači da polarna osa ne leži u ravni meridijana i instrument treba pomjeriti u horizontalnoj ravni, tj. izmjeniti azimut. U ovom slučaju cijeli stativ treba zarotirati u horizontalnoj ravni za mali ugao u smjeru suprotnom kretanju kazaljke na satu, ili, što je isto, zarotirati ga tako da sjeverni kraj polarne osovine bude malo pomjeren ka zapadu.

Kada se zvijezda kreće ka dole, znači da instrument treba rotirati u smjeru kazaljke na satu, tj. sjeverni kraj polarne osovine pomjerati ka istoku. Nakon nekoliko pomjerenja dovešćemo instrument u takav položaj da će se zvijezde kretati tačno duž niti.

Za pravilno namještanje nagiba ose koristi se slična metoda s tom razlikom što se teleskop uperi u neku zvijezdu blizu časovnog ugla od  $+ 6^{\text{n}}$  ili  $- 6^{\text{n}}$ . Uzimamo da je teleskop okrenut ka nekoj zvijezdi na istočnom dijelu neba. Ako zvijezda "bježi" ka gore to znači, da je neophodno sjeverni kraj polarne ose podignuti, odnosno, povećati njen nagib u odnosu na horizont. U obratnom slučaju se postupa suprotno.



Sl.A28. Kretanje zvijezde u okularu pri nepravilnom i pravilnom orijentisanju teleskopa.

## A . 9    S P E K T R A L N A    A N A L I Z A    U A S T R O N O M I J I

Svjetlost svih nebeskih tijela, koja dopire do nas, je u većoj ili manjoj mjeri sastavljena iz niza boja. Prolazom te svjetlosti kroz prizmu ili optičku rešetku nastaje spektar. Poznato je da usijana čvrsta i tečna tijela daju neprekidni spektar kod koga se boje postepeno slijevaju jedna u drugu. Zagrijani gasovi u razrijeđenom stanju daju linijski spektar. Svaki hemijski element koji je sadržan u ovakvom gasu daje neku karakterističnu svijetlu liniju ili traku različite boje.

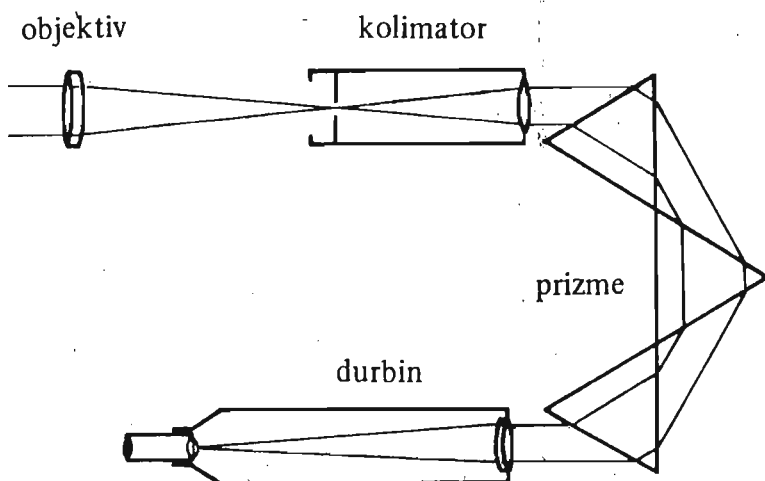
Apsorpcioni spektri nastaju kada svjetlost nekog usijanog tijela prolazi kroz takode zagrijanu materiju koja je smještena između posmatrača i tog tijela. Ovakvi spektri sastoje se od tamnih linija ili traka na svjetlijoj pozadini. U vezi sa ovim javlja se poznati Kirhofov zakon. On kaže da će neka sredina upiti onu boju, traku ili liniju koju bi u datim uslovima sama emitovala. To praktično znači ovo. Ako, na primjer, neki izvor, pored ostalog, u svom spektru daje dvije žute natrijumove linije, onda, ako ga okružimo parama natrijuma, doći će do apsorpcije linija ovog elementa. Umjesto sjajnog natrijumovog dubleta mi ćemo vidjeti dvije tamne linije na istom mjestu.

Pomoću spektralne analize moguće je mnogo saznati o hemijskom sastavu materije iz koje su građena pojedina tijela. Zatim tu su saznanja o fizičkim uslovima koji na njima vladaju. Doplerov efekat omogućava da se utvrdi da li se ispitivani objekat kreće ka nama ili od nas i tako dalje.

### A.9.1 Spektroskopi i spektrografi

Za direktna posmatranja spektara služe aparati koji se nazivaju spektroskopi. U principu su građeni kao na slici A29.

Prvi dio je kolimator K koji se sastoji od cijevi sa sočivom. Na prednjem dijelu cijevi je uski prorez (pukotina) koji se nalazi u žiži sočiva. Na



Sl.A29. Spektroskop.

taj način, zraci koji padaju na pukotinu kolimatora, nakon prolaza kroz sočivo, postaju paralelni i u takvom snopu padaju na prizmu. Prizma (ukoliko je riječ o prizmenom spektroskopu) se obično pravi od flint stakla jer ono ima veću moć disperzije. Na drugom kraju se namješta durbin pomoću kojeg se spektar posmatra. Ako je taj durbin povezan sa mehanizmom za fino kretanje u odnosu na prizmu i nekom skalom, onda govorimo o spektrometru.

Ako se umjesto durbina stavi fotografska kamera onda dobijamo spektrograf pomoću koga možemo snimati spektre. Spektroskop ili spektrograf se smješta na okularni dio teleskopa tako da se u fokusu objektiva nađe pukotina kolimatora. Pomoću posebnog sistema, na fotoploču se, prije ili poslije snimanja, eksponira i poredbeni spektar od nekog vještačkog izvora. On omogućava mjerenje spektralnih linija i utvrđuje kojim elementima pripadaju.

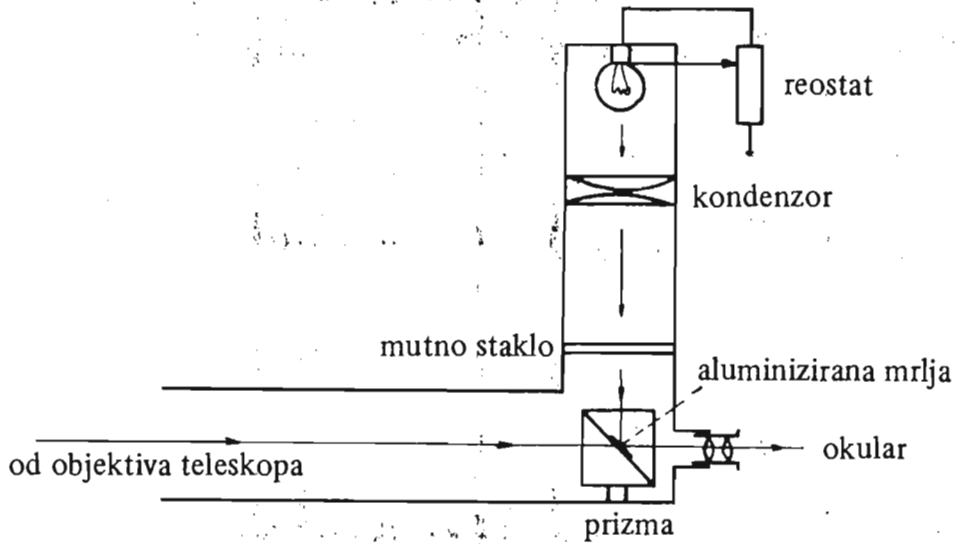
U novije vrijeme, za opšta ispitivanja svijeta zvijezda, mnogo se koriste objektivske prizme. To je, u principu, astrograf ispred koga se stavlja prizma sa uglom od nekoliko stepeni. Na ploči se dobiju mali spektri svih zvijezda iz oblasti koja se snima. Ovi spektri imaju malu disperziju i nisu velikog kvaliteta. Međutim, i pored nedostataka, oni su korisni za zvjezdanu statistiku. Objektivske prizme omogućavaju i otkrića novih zvijezda, jer ove imaju karakteristične spektre.

## A . 1 0 F O T O M E T R I

Astrofotometrija se bavi mjerenjem jačine svjetlosti koju nam šalju nebeska tijela. Mjerenje te jačine, koja se karakteriše skalom prividnih zvjezdanih veličina, može se vršiti na razne načine.

Najprije su se pojavili vizualni fotometri. Ima ih raznih vrsta, a karakteristično je za sve da se koristi neki izvor svjetlosti koji služi za poredenje. Ta "vještačka" zvijezda se obično, pomoću sistema prizmi, projektuje u vidno polje okulara kojim se posmatra neki objekat. Smanjujući ili pojačavajući svjetlost na neki način, možemo postići da sjaj vještačke zvijezde

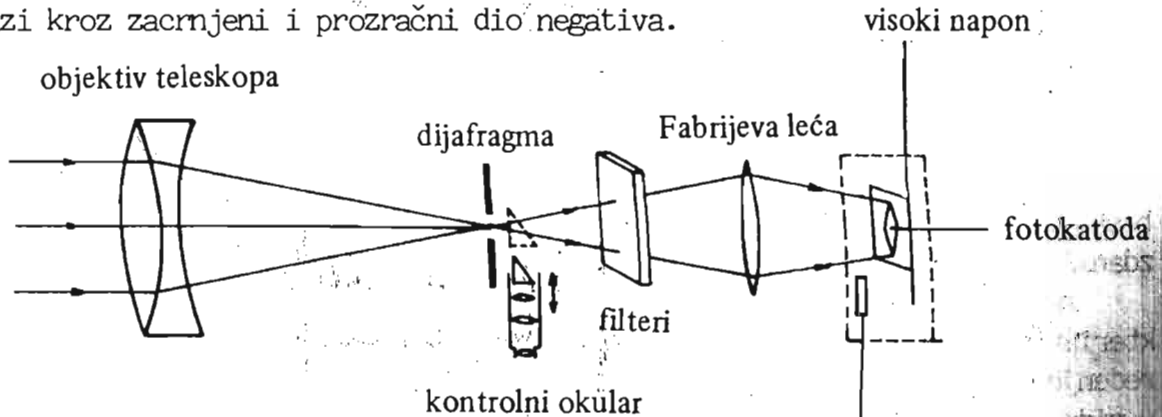
bude jednak sjaju prave zvijezde. Pomoću neke podjele, poveže se veličina sjaja sa nekom brojnom vrijednošću. Ako fotometer služi za ispitivanje Mjeseca ili nekih objekata većih razmjera, onda ta vještačka zvijezda ima oblik mrlje željenog oblika. Vizualni fotometer je prikazan na slici A30.



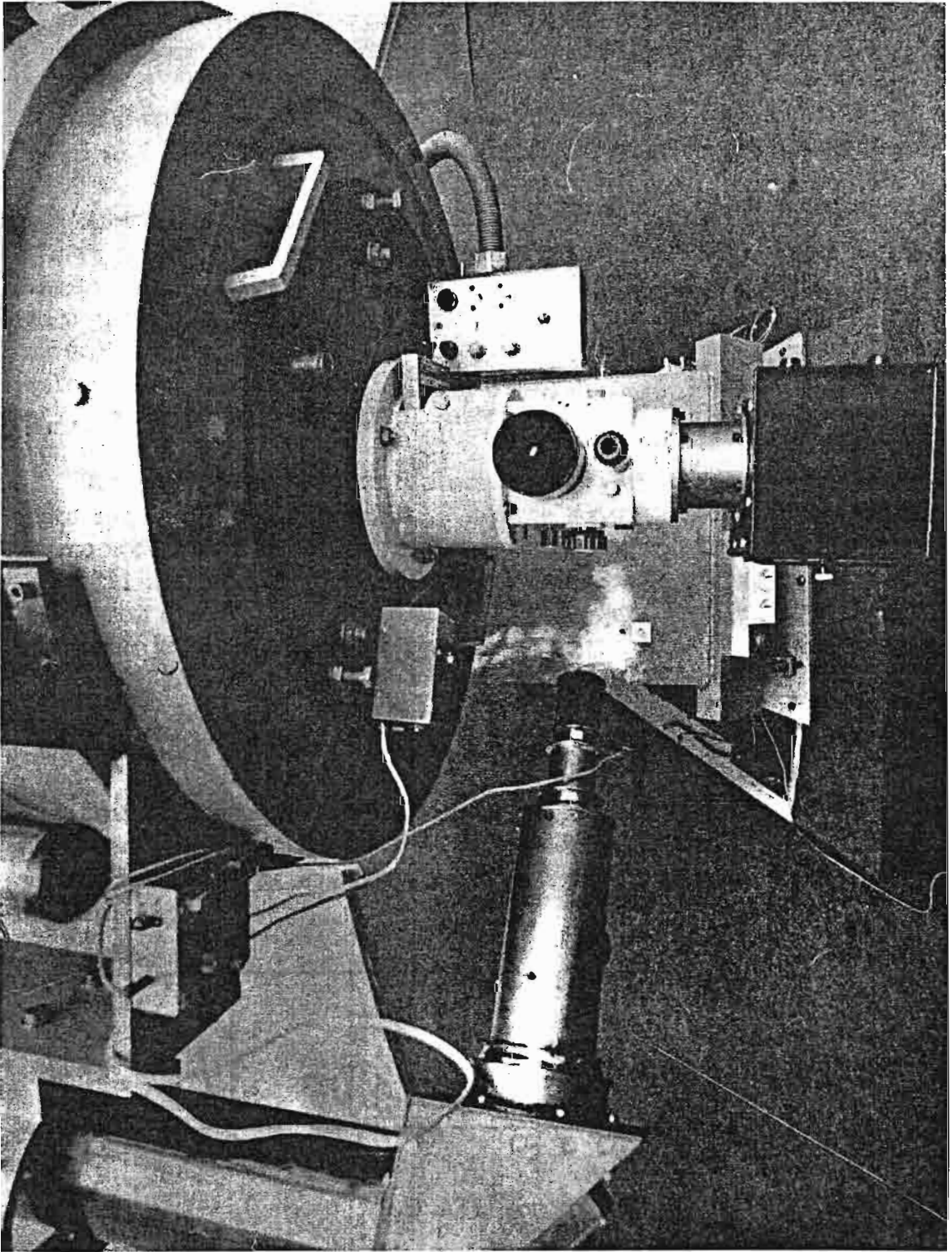
Sl. A30. Vizualni fotometer

Smanjivanje ili pojačavanje svjetlosti vještačke zvijezde nije preporučljivo vršiti reostatom, jer se pri tome mijenja i boja sijalice, a to nije poželjno. Bolje je koristiti tzv. fotometrijski klin ili neki polaroid čijim zakretanjem smanjujemo, odnosno, povećavamo svjetlost sijalice. Mjerenja pomoću vizualnih fotometara po pravilu nisu naročito precizna.

Za astrofotometriju se mogu uspješno koristiti negativi koji se dobiju pri snimanju neba. Veličina zacrnjenja negativa zavisi približno od prividne veličine snimljene zvijezde. Postoje mikrofotometri, snabdjeveni fotomultiplikatorskim cijevima koji mogu da mjere odnos intenziteta svjetlosti koja prolazi kroz zacrnjeni i prozračni dio negativa.

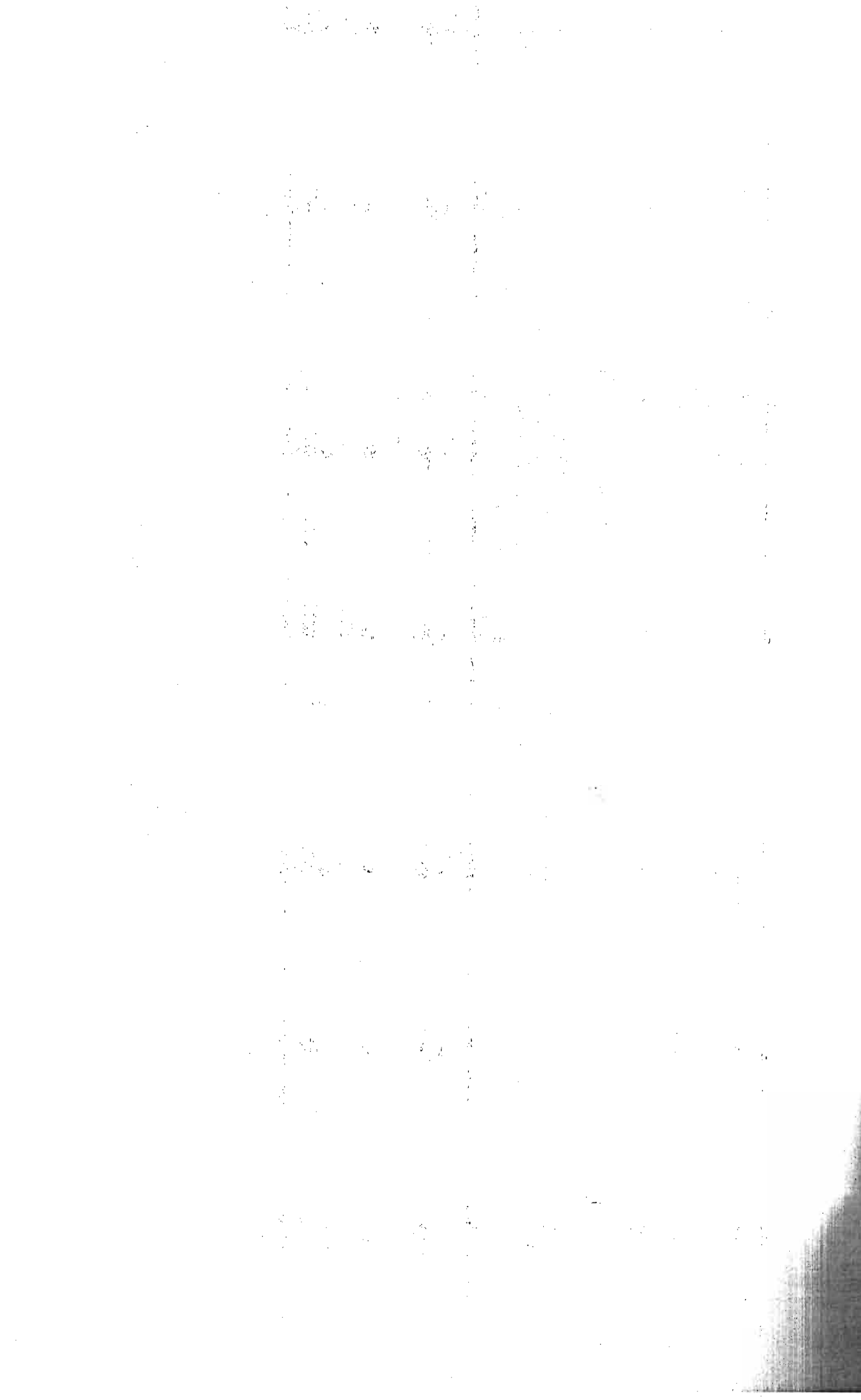


Sl. A31. Fotoelektrični fotometer. anoda



Sl. A32. Fotoelektrični fotometar Astronomske opservatorije u Sarajevu.





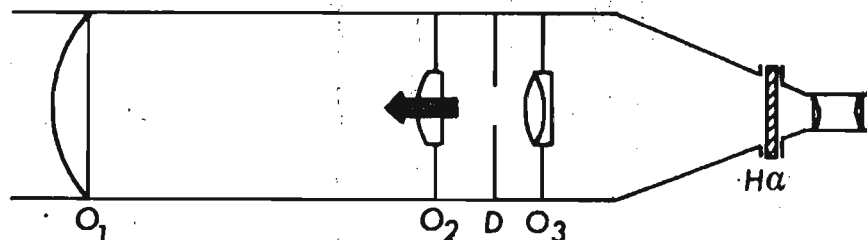
interferencije svjetlosti koja je posljedica njene talasne prirode. Oni se prave na sljedeći način. Na staklenu pločicu nanese se tanki sloj srebra, a, zatim, sloj nekog dielektričnog materijala. Zatim se opet stavlja sloj srebra i jedna zaštitna staklena pločica. U zavisnosti od debljine dielektrika od poluprozračnog sloja srebra odbijaće se pojedine talasne dužine koje se žele izolovati.

Neke materije imaju osobinu da svjetlosne talase propuštaju u samo jednoj ravni. Prolazom svjetlosti kroz neki takav filter dolazi do pojave polarizacije. Ako iza takvog filtera stavimo još jedan, onda, njegovim zakretanjem možemo postići da se svjetlost potpuno ugasi, kada dvije ravni kroz koje se vrši propuštanje postanu uzajamno normalne. Polaroidni filteri mogu se koristiti za ispitivanje da li neki objekti, zbog određenih fizičkih uslova, imaju polarizovanu svjetlost. Dovoljno je koristiti jedan polaroid čijim zakretanjem se ispituje da li će svjetlost posmatranog objekta oslabiti. Pošto se obično radi o slabim promjenama, koje se vizuelno ne mogu registrovati, onda se koriste multiplikatori na koje pada svjetlost nakon prolaza kroz polaroid.

Niz polaroida i kvarcnih pločica omogućava dobijanje filtera koji propušta samo jednu talasnu dužinu. Tako je konstruisan  $H\alpha$  filter koji propušta crvenu vodonikovu liniju sa talasnom dužinom od 656 nm. Ovi filteri se mogu koristiti za izučavanje Sunca i pojava na njemu. Gubitak svjetlosti pri prolasku kroz niz pločica je veliki, ali, blagodareći velikom sjaju Sunca, to ne čini smetnju.

#### A . 1 2      I N S T R U M E N T I   Z A   I Z U Č A V A N J E S U N C A

Osim uobičajenog direktnog posmatranja Sunca, postoje i neki specijalni instrumenti koji se koriste u te svrhe. Jedan od takvih je koronograf, koji se može koristiti za ispitivanje korone i protuberanci. Njegova šema je data na slici A33.



Sl. A33. Koronograf.



fotografske ploče, u diskretnim paketima. Ono što je značajno kod ovih uređaja je, da su po ovom principu i načinu rada nužno vezani uz kompjutere. Kompjuteri, u stvari, čuvaju informacije o svakoj pojedinačnoj piksli i kasnije reprodukuju ovako dobijenu sliku. Najnoviji CCD sadrže 800x800 piksli, odnosno, ima ukupno 640 000 pojedinih elemenata na pločici od prečnika deset do 15 milimetara.

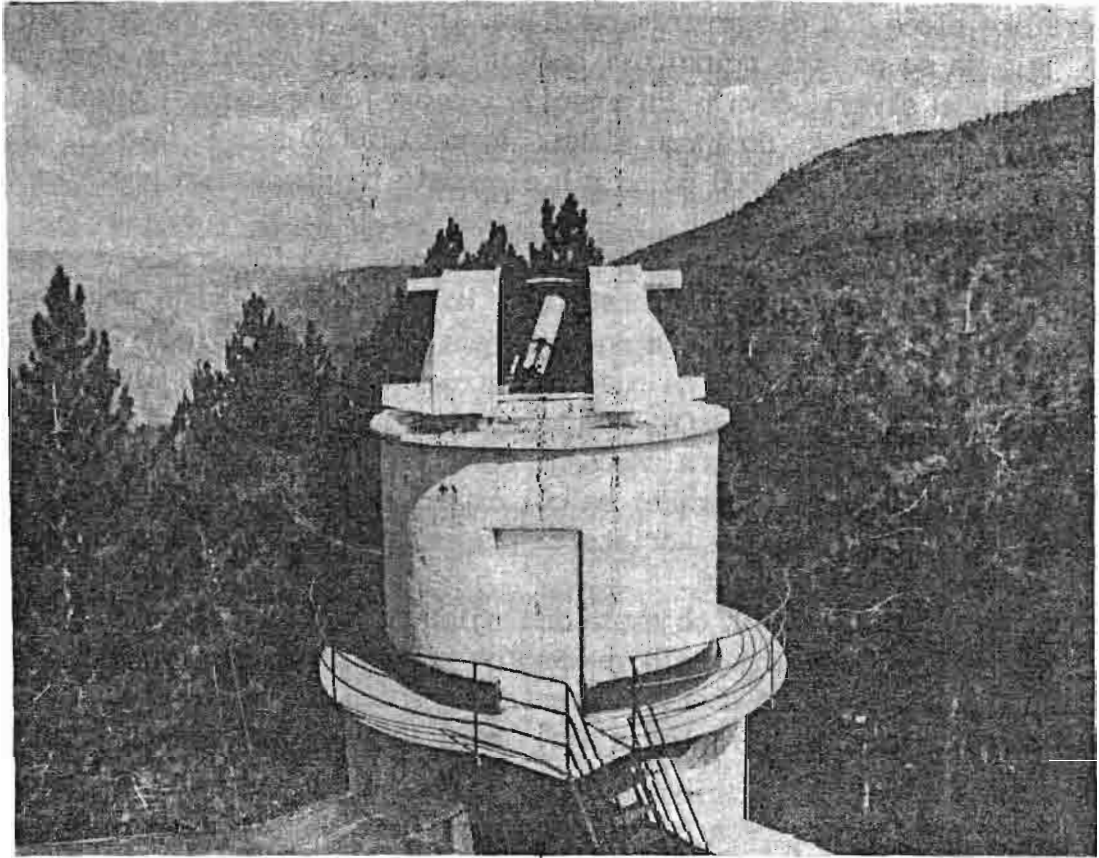
U dvije vrlo bitne stavri CCD su superiorniji nad fotografskim pločama. Prva je, visoka kvantna efikasnost (tj. količina detektovane svjetlosti od ukupne upadne). Kod foto-ploča ona se kreće oko 2%, što znači da ostatak svjetlosti koji na nju pada ne bude registrovan. Kod najnovijih CCD kvantna efikasnost se kreće oko 75%. Oni su, takode, za razliku od fotografskih emulzija striktno linearni. Treća značajna stvar kod CCD je njihova osjetljivost na crveni dio spektra. U praksi se ovi čipovi hlade do temperature tečnog helijuma. Kompjuteri koji se koriste za prijem, a posebno za obradu podataka, moraju da budu istinski moćni.

Snimanjem veoma slabih objekata ili njihovih spektara nezamisliva su bez CCD. No, dalje povećanje njihove kvantne efikasnosti neće značiti naročit dobitak, jer nije moguće dostići teoretsku granicu od 100%. Zbog toga dalji razvoj tehnika za objekte slabog sjaja, mora ići na povećanje prečnika teleskopa.

#### A . 1 4      A S T R O N O M S K E    O P S E R V A T O R I J E

Već u doba prije izuma teleskopa, pa i mnogo ranije, ljudi koji su se bavili astronomijom podizali su posebne građevine za tu svrhu. Kasnije se došlo do saznanja da astronomski instrumenti moraju biti smješteni daleko od gradova, čija svjetlost i zagađenje atmosfere u mnogome umanjuju rezultate posmatranja, a u naše doba ih praktično onemogućavaju. Zbog toga sve opservatorije biraju udaljene planinske predjele. U izboru mjesta za opservatoriju veliku ulogu igraju tzv. astroklimatski uslovi. Poželjno je da odabrano mjesto ima što veći broj vedrih noći, da je vlažnost vazduha mala, da je tlo takvo da nema velikih turbulencija vazdušnih masa. Takode se teži predjelu gdje su razlike noćnih i dnevnih temperatura male, a atmosfera prozračna. Posebno je od velikog značaja da se instrumenti ogromnih razmjera smjeste na što je moguće bolje mjesto. Za manje teleskope ovakvi kriterijumi nisu tako oštri.

Uobičajeno je da se za smještaj teleskopa prave posebne polusferične kupole koje se slobodno okreću, a teleskop se, kroz poseban otvor sa kriškama, može uperiti u ma koji dio neba. Stub na kojem se teleskop nalazi treba da je masivan i, kod većine instrumenata, obično prolazi kroz čitavu zgradu na čijem je vrhu kupola i ima zasebne temelje. Uz opservatoriju dolaze i razne druge potrebne prostorije, kao što su foto-laboratorija, radionice, spavaonice, biblioteke itd.



Sl. A34. Kupola prečnika 3 m u koju je smješten dvostruki astrograf Astronomске opservatorije u Sarajevu.

Moderne opservatorije postavljaju se na pažljivo ispitana mjesta, sa odličnim astroklimatskim uslovima. Među najbolja mjesta na našoj planeti spadaju vrhanski Mauna Kea (Havaji), Roque de los Muchachos (Kanarski otoci), te La Silla i Cerro Tololo (Čile). Savremene opservatorije, zbog malog broja kvalitetnih mjesta za astronomska posmatranja, obično se podižu u vidu velikih kompleksa sa dosta kupola. Troškovi izgradnje opservatorija tako su veliki da se ide na udruživanje institucija, a, takođe i država koje ih zajednički podižu. Tako je zajedničkim naporima više evropskih država podignuta Evropska južna opservatorije (ESO) u području La Silla u Čileu.

Naredna tabela sadrži popis najvećih teleskopa na svijetu sa podacima o mjestu smještaja, prečniku i godini puštanja u rad.

## A . 1 5    T E L E S K O P I    B U D U Ć N O S T I

Gradnja velikih teleskopa oduvijek je predstavljala izuzetno složen naučni i tehnološki proces, čiji su rezultati zavisili od trenutnog tehnološkog nivoa čovječanstva. Razvojem kompjutera i novih vrsta materijala,

T A B E L A A1

Naziv opservatorije (ili teleskopa)	Mjesto	Prečnik (m)	Godina stupanja u rad
Specijalna Astrofizička opservatorija (BTA) SSSR	Kavkaz	6	1976
Palomar Observatory (Hale Telescope) SAD	Palomar	5	1950
Whipple Obs. (Multiple Mirror Telescope) SAD	Mt. Hopkins	4.6	1979
Roque de los Muchachos: Herschel Telescope, Vel. Britanija	Kanarski otoci	4.2	(1986)
Cerro Tololo, Inter American Observatory, Južna i Sjev. Amer.	Cerro Tololo (Čile)	4	1975
Anglo-Australian Telescope AAT Velika Britanija-Australija	Siding Spring (Australija)	3.9	1975
Kitt Peak National Observatory Mayall reflector, SAD	Kitt Peak	3.8	1974
United Kingdom Infrared Tel. (UKIRT), Velika Britanija	Mauna Kea (Havaji)	3.8	1979
European Southern Observatory (ESO), zemlje zapadne Evrope	La Silla (Čile)	3.8	1976
Canada-France-Hawaii Telescope (CFHT)	Mauna Kea (Havaji)	3.6	1979
German-Spanish Astronomical Center (Španija-Zapadna Njem.)	Calar Alto Španija	3.5	1983
NASA Infrared Telescope Facility (IRTF), SAD	Mauna Kea (Havaji)	3.0	1979

D O D A T A K A

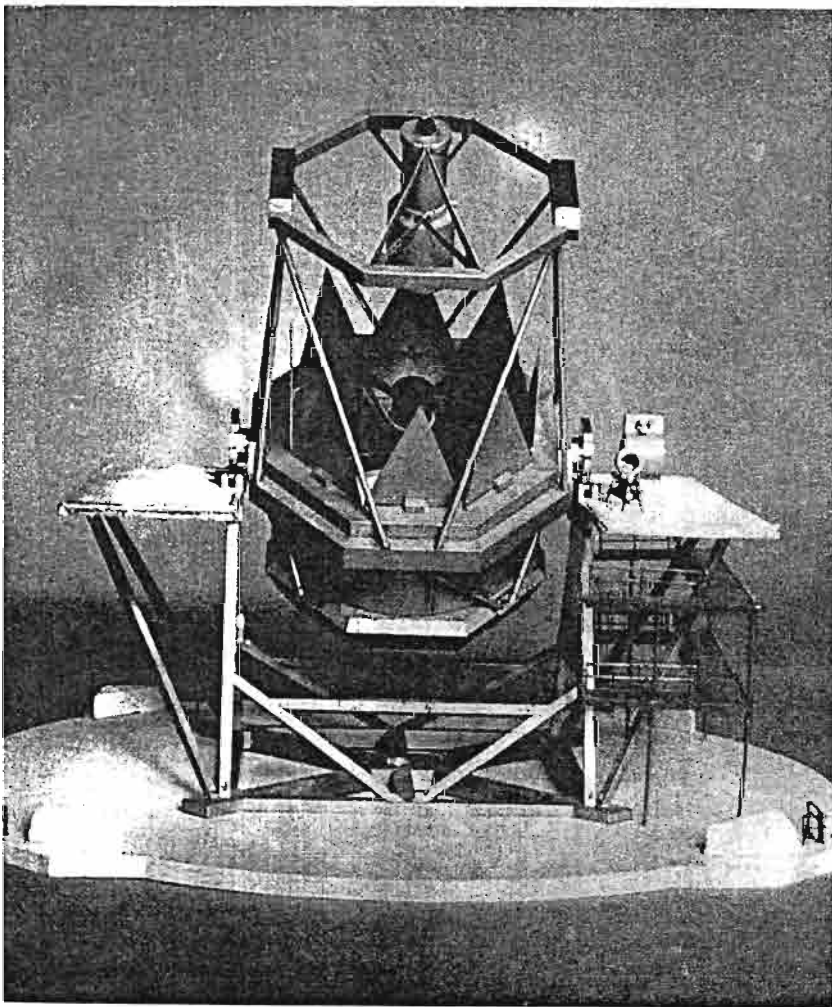
---

TABELA A1 - N a s t a v a k

Lick Observatory, Shane Telescope SAD	Mt. Hamilton	3.0	1959
McDonald Observatory, SAD	Mt. Locke	2.7	1968
Krimska astrofizička opservatorija, SSSR	Krim	2.6	1961
Bjurakanska opservatorija, SSSR	Armenija	2.6	1976
Las Campas Obser., Ireneu du Pont Telescope	Cerro de las Camp. (Čile)	2.5	1977
Roque de los Muchashos Obs. Isaac Newton Tel., Vel. Brit.	Kanarska ostrva	2.5	1982
Mt. Wilson Observatory Hooker Telescope, SAD	Mt. Wilson	2.5	1917
Space Telescope (ST) SAD	Orbita oko Zemlje	2.4	(1985)
Wyoming Infrared Observatory SAD	Jelm Mtn.	2.3	1977
Steward Observatory, SAD	Kitt Peak	2.3	1969
Mt. Stromlo i Siding Spring Observatory, Australija	Siding Spring	2.2	1983
University of Hawaii, SAD	Mauna Kea	2.2	1970
German-Spanish Astronomical Center, Španija-Zapadna Njem.	Calar Alto	2.2	1979



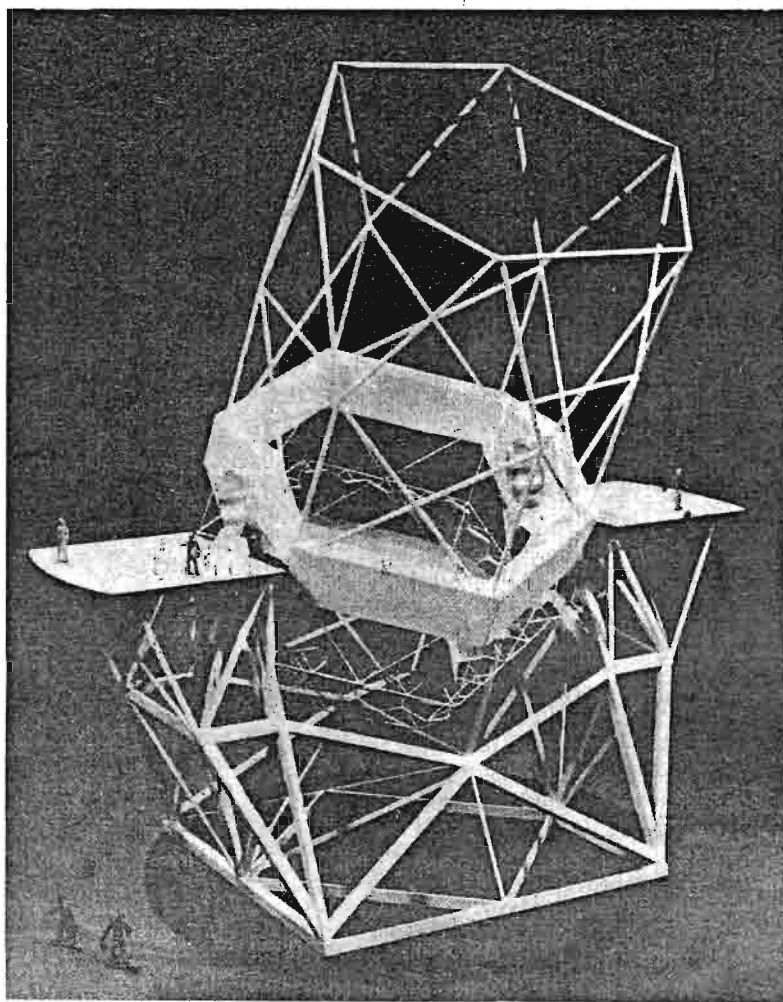
početkom osamdesetih godina, počelo se razmišljati o gradnji još većih teleskopa. Do sada je ponudeno nekoliko mogućih konstrukcija džinovskih teleskopa. Od svih prijedloga, dva su usvojena i otpočeli su radovi na realizaciji. Univerzitet u Teksasu otpočeo je radove na izradi teleskopa prečnika 7.5 metara, čije će glavno ogledalo biti izrađeno od "lakog" stakla. Upotreba kompjutera omogućit će stalnu kontrolu efekata širenja stakla, usljed temperaturnih promjena. Montaža je azimutna, a teleskop će imati veoma kratak fokus i kupolu umjerenih dimenzija.



Sl.A35. Model 7.5 metarskog teleskopa Univerziteta u Teksasu.

Drugi usvojeni koncept je teleskop prečnika 10 metara za Univerzitet u Kaliforniji. U aprilu 1984. godine, Marion O.Hoffman dala je donaciju od 36 miliona dolara na ime inicirajućih sredstava za gradnju ovoga teleskopa. Ogledalo će biti segmentnog tipa sa 36 manjih ogledala, prečnika 1.8 metara,

koja su u obliku šestougaonika. Svaki od ovih pojedinačnih elemenata može se posebno centrirati uz pomoć kompjutera. Na taj način cijela površina predstavlja jedan jedinstveni objektiv prečnika 10 metara. Novi optički gigant težiće 158 tona, imati azimutnu montažu i tubus dug 22 metra. Teleskop će prikupljati 4 puta više svjetlosti od 5 metarskog reflektora na opservatoriji Palomar.

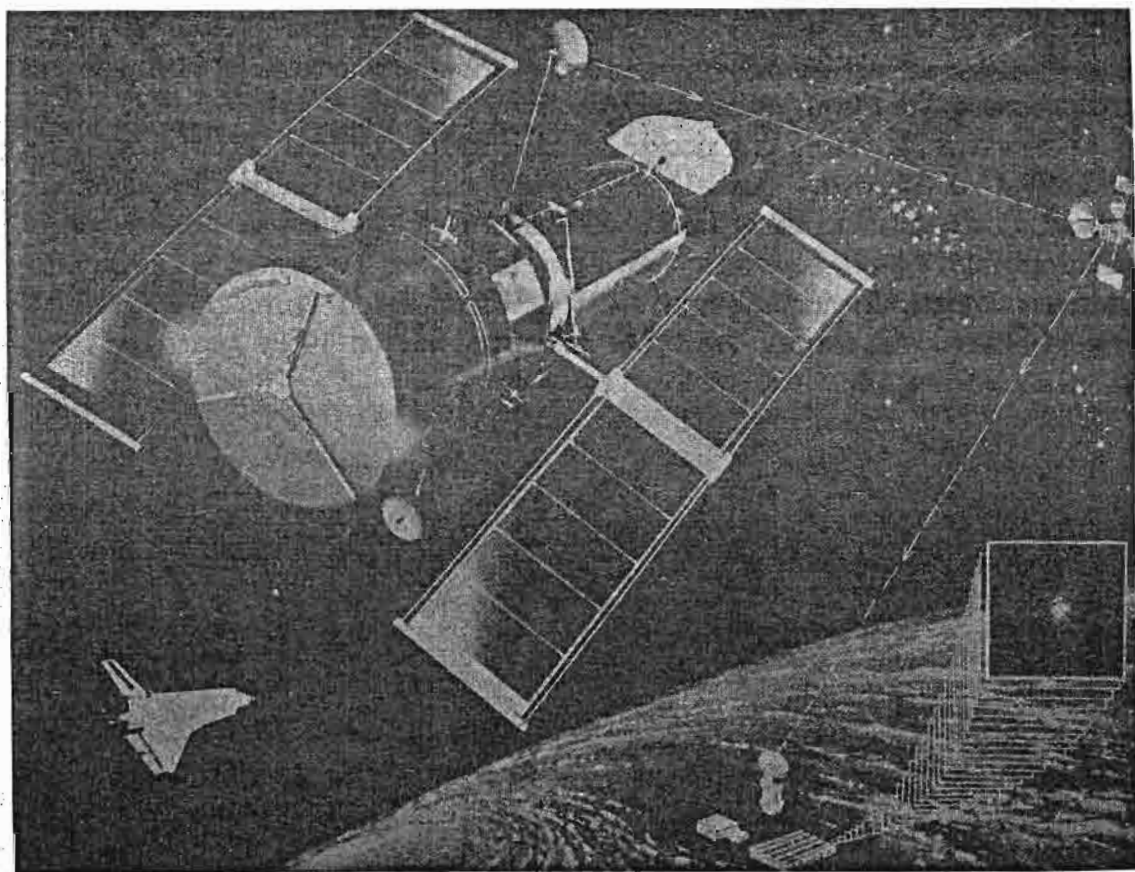


Sl.A36. Izgled budućeg najvećeg teleskopa na svijetu sa prečnikom od 10 m.

Pored konstrukcija novih teleskopa na Zemlji, napravljeni su i prvi koraci u konstrukcijama teleskopa koji će vršiti posmatranja iz svemira. Lišeni uticaja zemljine atmosfere, ovi instrumenti označiće novu eru u razvoju astronomije. Za 1985. godinu planirano je lansiranje svemirskog teleskopa (Space Telescope), koji ima prečnik ogledala od 2.4 metra, i koji će, zahva-

ljujući detektorima i odsustvu atmosfere, raditi od ultraljubičastog dijela spektra (120 nm) do infracrvenog (1200 nm). Svemirski teleskop će, zahvaljujući preciznoj izradi i smještaju, omogućiti snimanje galaksija sa 20 puta većom oštrinom od snimaka koji su načinjeni sa Zemlje.

Ovaj instrument će pored ostalog omogućiti detekciju objekata 10 do 100 puta slabijeg sjaj, nego što je to moguće najvećim teleskopima koji danas rade na površini naše planete. Svemirski teleskop će biti lansiran uz pomoć Spejs Šatla (Space Shuttle) u toku 1985. godine. Orbita će mu biti ne visini



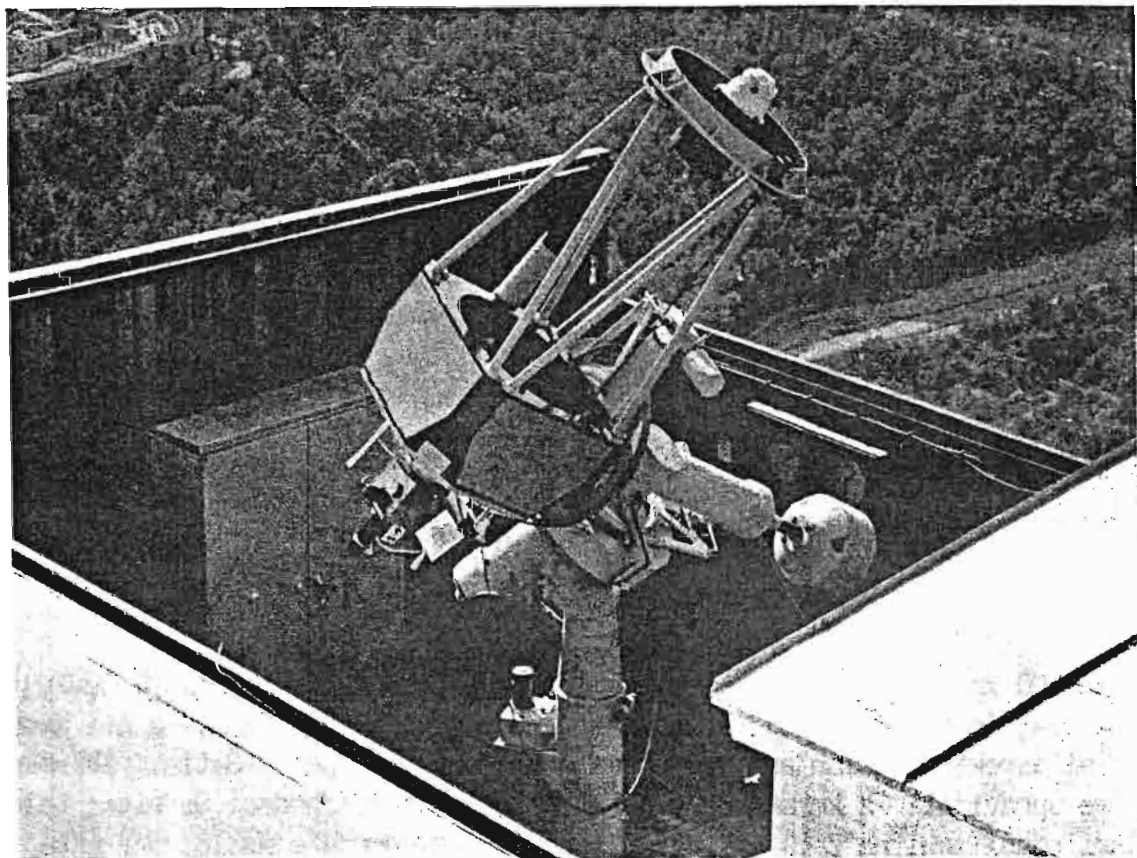
Sl.A37. Umjetnička vizija Svemirskog teleskopa koji će biti lansiran 1985. godine pomoću Space Shuttle-a.

od oko 500 km, i nagnuta za 29 stepeni u odnosu na ekvator Zemlje. Očekuje se da će ovaj instrument biti u radnom pogonu najmanje 15 godina, a svi kvarovi bili bi direktno otklanjani posjetama astronauta iz Spejs Šatla. Teleskopom će se upravljati iz komandnog centra sa Zemlje i svi podaci će biti televizijski odašiljani na Zemlju i obradivani pomoću kompjutera.

## A . 1 6    A S T R O N O M I J A    U    J U G O S L A V I J I

U Jugoslaviji postoje četiri veće opservatorije i nekoliko manjih. Najstarija naša opservatorija nalazi se u Beogradu na brdu Zvezdara. Njen najveći instrument je refraktor prečnika 65 cm, koji je nabavljen još poslije prvog svjetskog rata. Pored njega opservatorija raspolaže sa astrografom, Sunčanim spektrografom, te meridijanskim i pasažnim instrumentima koji se koriste u astrometriji. Na opservatoriji u Beogradu vrše se istraživanja u oblasti astrometrije, dvojnih zvijezda, asteroida, Sunca itd. Takođe se, saradnici ove ustanove bave i teorijskim istraživanjima. Obzirom na nepovoljne uslove smještaja napravljeni su planovi za podizanje visinske astrofizičke opservatorije u južnoj Srbiji.

Opservatorija Hvar, na otoku Hvaru, radi u okviru Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Nastala je kao zajednička čehoslovačko-jugoslovenska opservatorija. Glavni instrument opservatorije je 65 cm-ski reflektor čehoslovačke izrade, koji se koristi za fotoelektričnu fotometriju promjenljivih zvijezda. Drugi instrument je dvostruki fotosferni teleskop kojim se vrše snimanja aktivnosti Sunca. Ova opservatorija radi od 1982. godine.

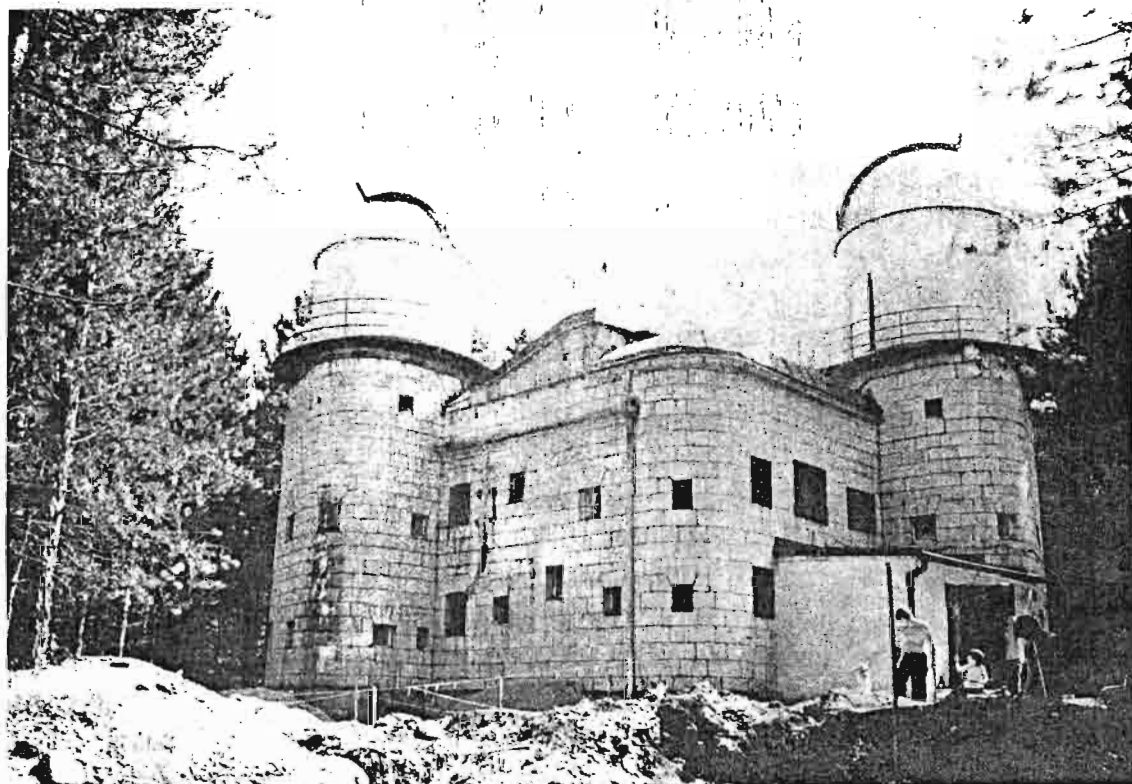


Sl.A38. 65 cm-ski teleskop opservatorije Hvar.

Astronomsko-geofizikalna opservatorija pri VTOZD Fizika Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo u Ljubljani raspolaže sa nekoliko manjih instrumenata. Najveći je reflektor tipa Celestron sa prečnikom 356 mm. Pored njega, na opservatoriji je refraktor Askania prečnika 160 mm i Zeiss-ov refraktor prečnika 110 mm. Opservatorija raspolaže sa univerzalnim pasažnim instrumentom. Obavljaju se posmatranja u oblasti fotometrije asteroida, fotometrije mirnih područja sunčeve fotosfere i sl.

Astronomska opservatorija u Sarajevu smještena je na Trebeviću, desetak kilometara jugoistočno od grada na nadmorskoj visini od 1010 metara. Sastoji se od dvije zgrade i tri kupole. U najvećoj kupoli smješten je teleskop reflektor prečnika 62 cm, Cassegrai-ovog tipa. Teleskop je stupio u pogon tokom 1984. godine. Od pomoćnog pribora raspolaže sa više fotoelektričnih fotometara, spektrografom itd.

Do 1984. godine u upotrebi se nalazio 30 cm-ski reflektor Newton-ove konstrukcije, koji je isključen iz upotrebe. Privode se kraju poslovi na postavljanju 40 cm Cassegrain fotometrijskog reflektora. U najmanjoj kupoli se nalazi dvostruki astrograf sa kamerama 83/375, namjenjen za patrolne snimke neba.



Sl.A39. Stara zgrada Astronomске opservatorije u Sarajevu sa kupolama od 3 i 4.5 metara.

Opservatorija posjeduje kompjuterski centar za obradu posmatranja, a radi se i na programu kompjuterske kontrole velikog 62 cm teleskopa. Glavna istraživanja na opservatoriji u Sarajevu vrše se u astrofizici (fotometrija zvijezda), te astrofotografiji (patrolni snimci neba) i istraživanja bolida (snimanje širokougaonim kamerama).

Pored pomenutih opservatorija, u Jugoslaviji djeluje i veći broj narodnih i popularnih opservatorija, klubova i društava. U Zagrebu radi Zvezdarica koja raspolaže sa Zeiss refraktorom prečnika 13.5 cm, i bavi se stručnim popularizatorskim radom na polju astronomije. U saradnji sa srodnim organizacijama izdaje časopis "Čovjek i svemir". U Beogradu se nalazi Narodna opservatorija Astronomskog društva "Ruder Bošković" koja se bavi sličnom aktivnošću. Oni izdaju časopis "Vasiona".



# Dodatak B

## B . S F E R N A A S T R O N O M I J A

Sferna astronomija je specijalna oblast nauke o nebeskim tijelima, koja se bavi određivanjem položaja raznih astronomskih objekata i svim onim što je vezano za to. Tu se, naravno, radi o prividnim položajima nebeskih tijela.

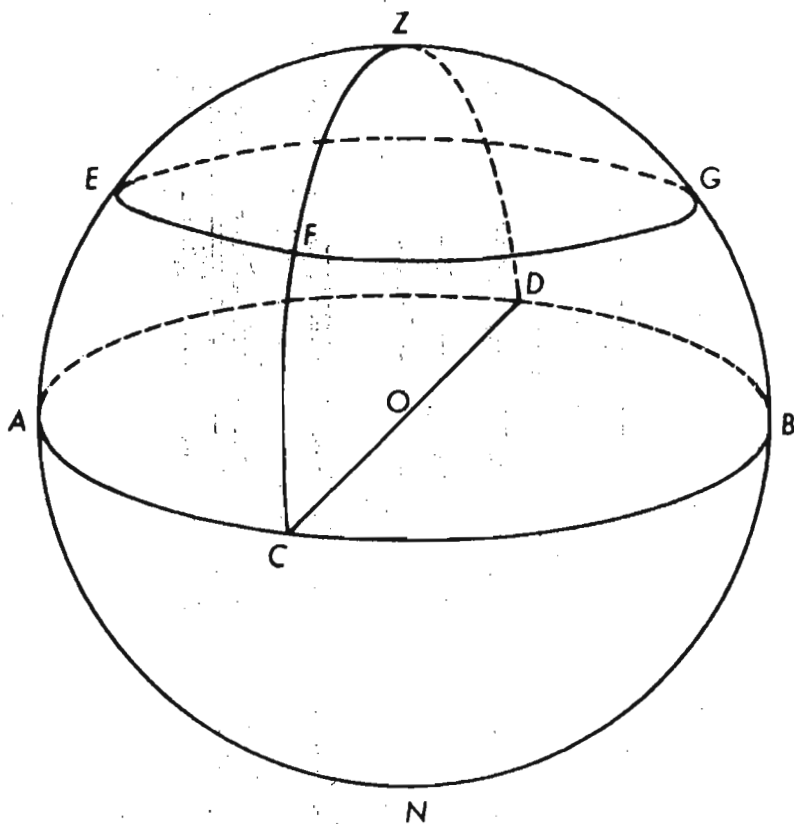
Ma gdje da se na Zemlji nalazimo, uvijek nam se nebo predstavlja u vidu ogromne polulopte. Nju u mislima možemo produžiti i ispod horizonta i tako dolazimo do pojma nebeske sfere. Sva svemirska tijela izgledaju kao da su pričvršćena na ovoj sferi, mada se, u stvarnosti, nalaze na najrazličitijim rastojanjima. Na nebeskoj sferi možemo definisati nekoliko osnovnih tačaka i lukova.

Zenit datog mjesta na površini Zemlje je tačka u kojoj pravac rezultante sile teže i centrifugalne sile nastale rotacijom Zemlje siječe nebesku sferu. Tu tačku možemo dobiti ako u mislima produžimo prema nebu pravac niti na kojoj je obješen visak. Ako taj pravac produžimo kroz središte Zemlje, tada ćemo na suprotnom dijelu nebeske sfere dobiti tačku nadir. Ravan koja je, za određeno mjesto normalna na pravac ka zenitu (taj pravac se obično naziva vertikal) zovemo ravan pravog horizonta. Sijekući nebesku sferu, ova ravan određuje krug koji se naziva pravi ili matematički horizont. Prividni horizont je nepravilna linija koja spaja mjesta gdje se prividno spajaju nebo i zemlja.

Svaka ravan koja prolazi kroz pravac zenit-posmatrač, tj. kroz vertikal, siječe nebesku sferu po velikom krugu koji se zove vertikal. Svi vertikali su uvijek normalni na horizont. Mali krugovi koji su paralelni sa ravni horizonta nazivaju se alumukantarati.

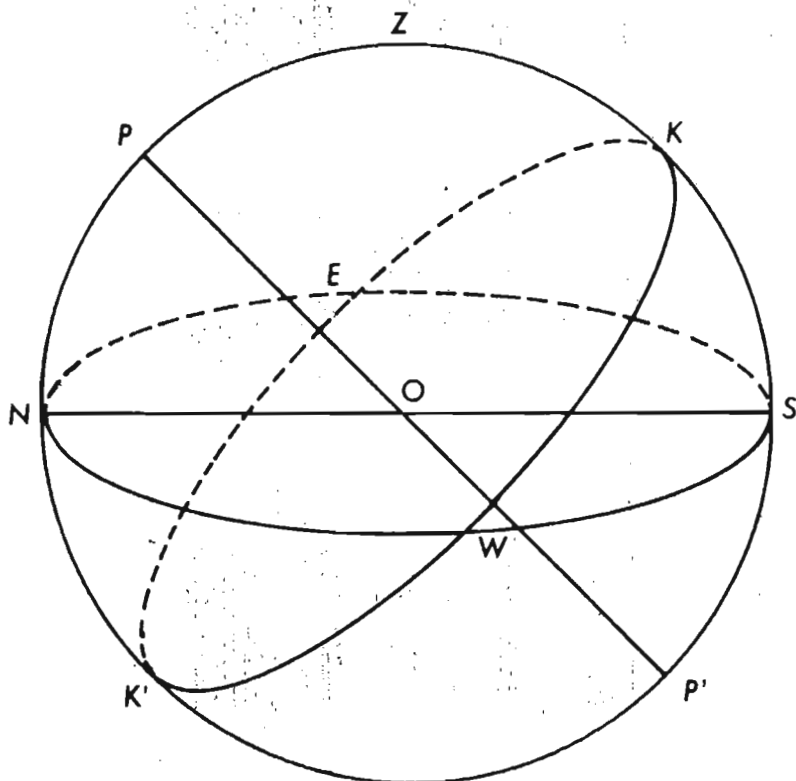
Ako nebesku sferu posmatramo noću duže vremena, vidjećemo da se ona polako okreće od istoka ka zapadu. Za puni obrt potrebna su joj 24 zvjezdane sata. (znamo da se tu radi o prividnom obrtanju i da je ono manifestacija rotacije naše planete). Ako osu, oko koje rotira Zemlja, u mislima produžimo do nebeske sfere, dobićemo dvije tačke koje se zovu svjetski polovi. Sa naših geografskih širina vidi se sjeverni nebeski ili svjetski pol, a sa južne polulopte vidljiv je južni nebeski ili svjetski pol. Oba ova pola su povezana svjetskom ili nebeskom osom koja je paralelna Zemljinoj osi.





Sl. B1.

Na slici B1. su: Z = zenit, ACBA = horizont, O = posmatrač, CZD = vertikal, N = nadir i EFGE = alimukantarat.

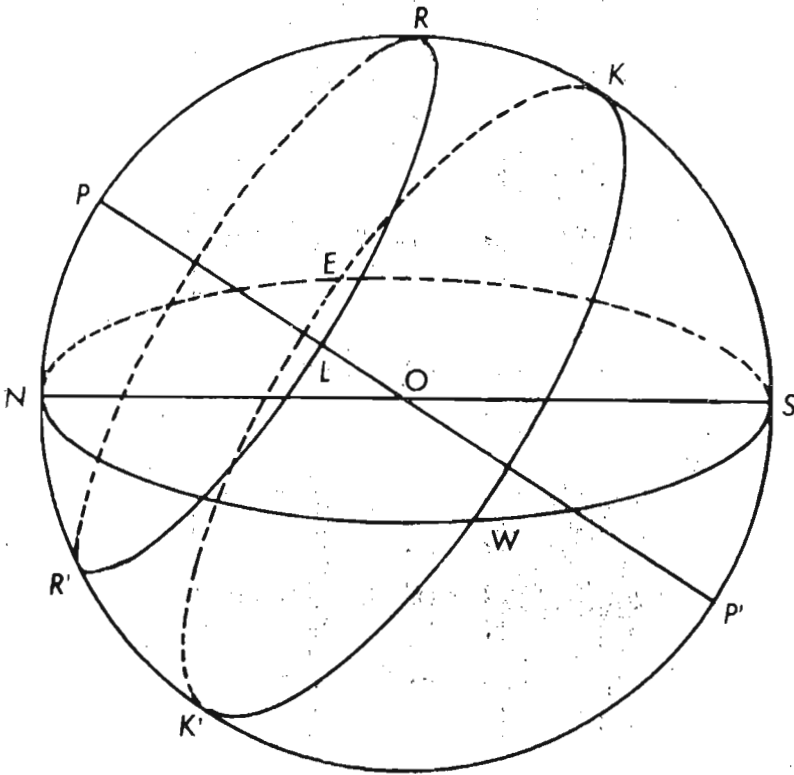


Sl. B2.

Oznake na sl. B2. predstavljaju: N = sjeverna tačka, E = istočna tačka, S = južna tačka, W = zapadna tačka, POP' = svjetska osa, P = sjeverni nebeski pol, P' = južni nebeski pol, K'WKEK' = nebeski ekvator, NOS = podnevna linija i NPZKS = nebeski meridijan.

Sve tačke i osnovni krugovi koji se pominju u prethodnom i dijelu narednog teksta dati su na crtežima B1, B2 i B3.

Veliki krug čija je ravan normalna na svjetsku osu naziva se nebeski ekvator. Vertikal čija ravan prolazi kroz svjetsku osu naziva se meridijan. Na njemu se kao tačke nalaze nebeski pol, zenit, južna i sjeverna tačka. Meridijan siječe horizont u južnoj i sjevernoj tački. Pravac N-S se naziva podnevna linija. Vertikal koji je normalan na meridijan tzv. prvi vertikal, siječe horizont u tačkama W i E. To su zapadna i istočna tačka. Njih možemo definisati i pomoću nebeskog ekvatora. Zapadna i istočna tačka se nalaze na presječnim tačkama nebeskog ekvatora i horizonta.

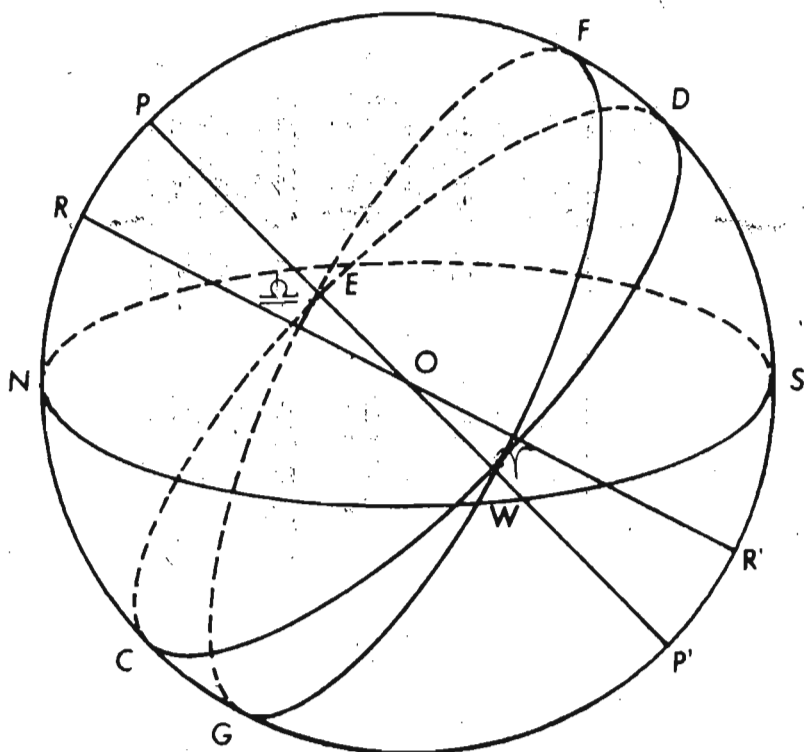


Sl. B3.

Na slici B3. oznake imaju značenja: R'LRR' = nebeska paralela, R = tačka gornje kulminacije, R' = tačka donje kulminacije.

Sve ravni koje prolaze kroz svjetsku osu, sijeku nebesku sferu po velikim krugovima koji se zovu časovni ili deklinacioni krugovi. Svaki časovni krug je normalan na nebeski ekvator. Mali krugovi koji se mogu povući

paralelno sa nebeskim ekvatorom zovu se paralele. Sva nebeska tijela imaju neku svoju paralelu koju opišu za 24 zvjezdana sata. Tom prilikom nebesko tijelo dva puta siječe meridijah. Ovaj prolaz tijela kroz meridijan koji je bliži zenitu, zove se gornja kulminacija. Prolaz dalji od zenita zove se donja kulminacija.



Sl. B4.

Na slici B4. su:  $C\Upsilon D\Omega C$  = ekliptika,  $PR'$  = osa ekliptike,  $GF\Omega G$  = ekvator,  $\Upsilon$  = proljetna tačka, i  $\Omega$  = jesenja tačka.

Horizont dijeli nebesku sferu na vidljivi i nevidljivi dio. Ekvator je pak razdvaja na sjevernu i južnu nebesku polusferu. Pored ovih krugova postoji još jedan koji je određen prividnim godišnjim kretanjem Sunca. Tokom godine Sunčevo središte opiše na nebeskoj sferi krug čija ravan sa ravni ekvatora zaklapa ugao od  $23^{\circ} 27'$ . Ovaj veliki krug se naziva ekliptika. Ekliptika i ekvator se sijeku u dvije dijametralno suprotne tačke. Tačka  $\Upsilon$  se naziva tačkom proljetne ravnodnevnice, ili kraće - proljetna tačka. Nosi staru oznaku prema sazviježđu Oвна, gdje se nalazila u staro vrijeme. U proljetnoj tački Sunce se nalazi 21. marta. Tačka jesenje ravnodnevnice se obilježava sa  $\Omega$ . U jesenjoj tački Sunce bude 23. septembra. U ova dva datuma je dužina trajanja dana jednaka dužini trajanja noći, pa otuda i dilazi naziv za ove tačke.

Veliki krugovi koji prolaze kroz polove ekliptike nazivaju se krugovi latituda. Svi oni su normalni na ravan ekliptike. Na slici B4. je data

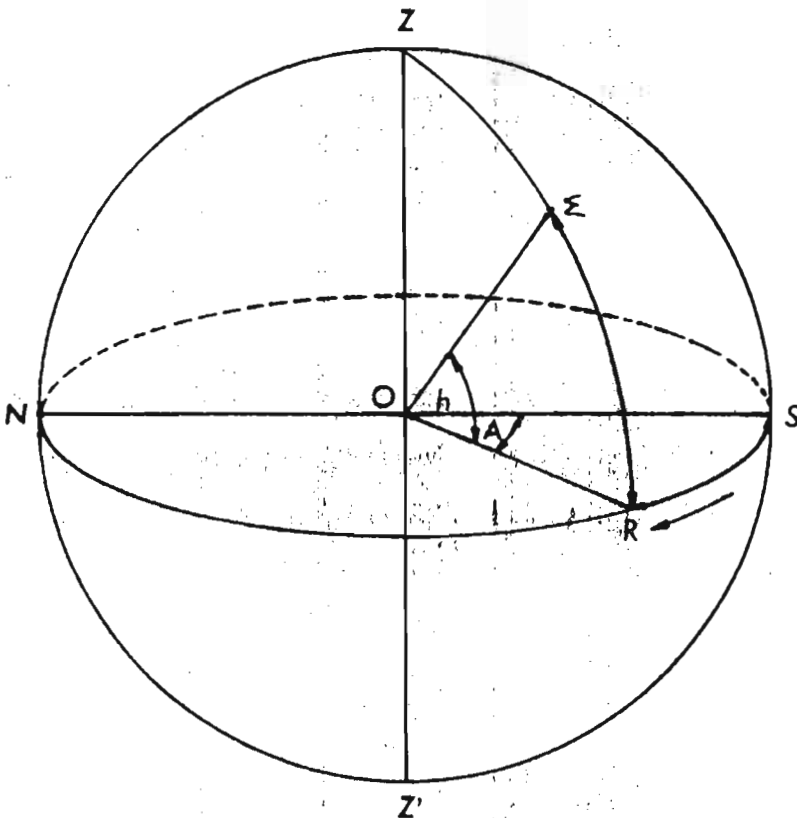
nebeska sfera sa ekliptikom i osnovnim tačkama koje je karakterišu.

### B. 1 NEBESKI KOORDINATNI SISTEMI

Ovih sistema, koji služe za određivanje položaja nebeskih tijela, ima više vrsta. Razlikuju se po tome koje ravni ili velike krugove na nebeskoj sferi imaju kao osnovne. U principu, u svakom koordinatnom sistemu se mogu odabrati dva velika kruga koji su normalni jedan na drugi. Uzme se zatim pol osnovnog kruga koji je od svih tačaka tog kruga udaljen za  $90^{\circ}$ . Kroz pol i nebesko tijelo se povlači luk sve do presjeka sa osnovnim krugom. Dužine lukova predstavljaju koordinate nebeskog tijela.

#### B.1.1 Koordinatni sistem horizonta

Osnovna ravan u ovom sistemu nebeskih koordinata je horizont. Drugi osnovni krug je meridijan. U ovom slučaju pol osnovnog kruga je zenit (Sl.B5.).



Sl.B5. Koordinatni sistem horizonta.

Posmatraćemo sljedeći slučaj. Neka se u tački  $\Sigma$  nalazi neko nebesko tijelo čiji položaj želimo odrediti. Kroz tačku zenita i tačku  $\Sigma$  povučemo krug koji se naziva visinski krug.  $O_n$ , ustvari, predstavlja neki vertikal.

Visinski krug će se sa ravni horizonta sjeći u tački R. Nakon ovoga spojimo tačke  $\Sigma$  i R sa O. Ugao između ovih pravaca ćemo označiti sa h. Taj ugao  $RO\Sigma$  se naziva visina nebeskog tijela.

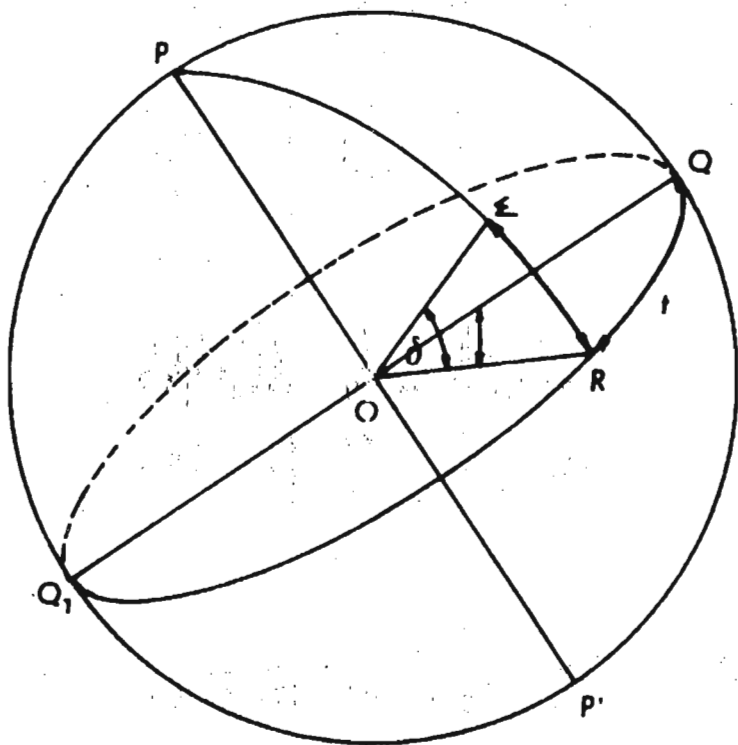
Često se umjesto ove veličine uzima ugao  $ZO\Sigma$ . To je zenitno rastojanje. Ugao  $SOR$  ćemo obilježiti sa A i zvati ga azimut nebeskog tijela. Smjer u kome se mjeri ova koordinata na sl.5. označen je strelicom. U južnoj tački je azimut  $0^\circ$ , a u zapadnoj  $90^\circ$ , sjevernoj  $180^\circ$  i u istočnoj  $270^\circ$ . Visina h se mjeri od  $0^\circ$  na horizontu do  $90^\circ$  u zenitu. Očigledno je da su visina h i zenitno rastojanje z povezani relacijom:

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

Takode je očigledno da sve tačke na jednom alumukantaratu imaju jednake visine ili zenitna rastojanja.

### B.1.2 Koordinatni sistem ekvatora

Ovaj sistem nebeskih koordinata se zasniva na ravni nebeskog ekvatora kao osnovnog. Druga ravan može biti ravan meridijana i, ako je sistem postavljen na takvoj osnovi, onda se jedna koordinata mijenja po vremenu. Posmatrat ćemo najprije taj slučaj. Na slici B6. vidi se da jednu



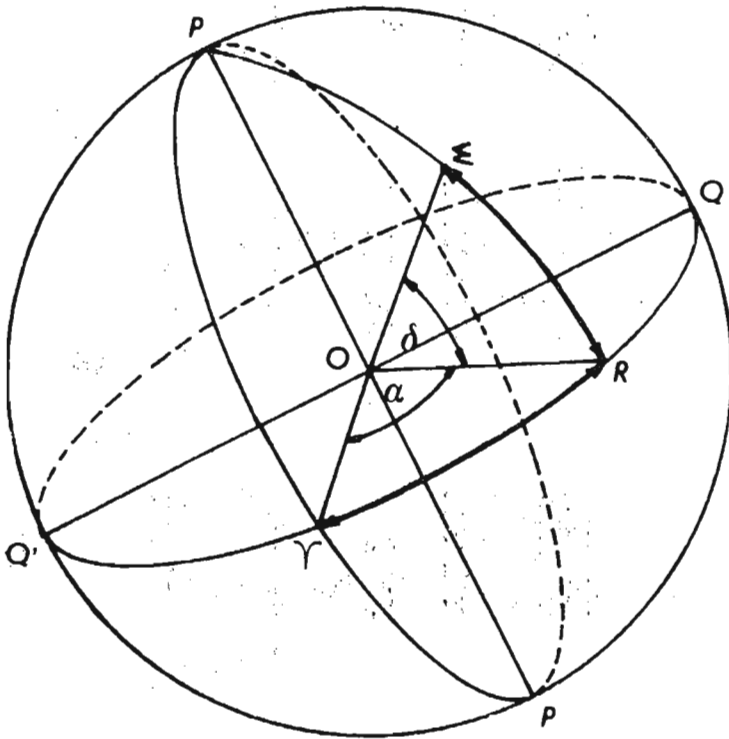
Sl. B6.

koordinatu dobijamo kada kroz nebeski pol i tačku  $\Sigma$ , gdje se nalazi tijelo, povučemo krug do presjeka sa nebeskim ekvatorom. Ova koordinata se naziva deklinacija i u astronomskim tablicama se obično obilježava sa  $\delta$  ili  $D$ . Na ekvatoru deklinacija iznosi  $0^\circ$  i pozitivna je do nebeskog sjevernog pola, gdje je njena vrijednost  $90^\circ$ . Ispod ekvatora je deklinacija negativna i ide do  $-90^\circ$  (južni nebeski pol).

Druga koordinata je ugao  $t$ . Naziva se časovni ugao i mjeri se od meridijana prema zapadu, i to od  $0^\circ$  do  $360^\circ$ . Zbog obrtanja nebeske sfere časovni ugao se neprekidno mijenja. Zbog toga se on u astronomiji koristi za mjerenje vremena. Kada se neko tijelo nalazi u gornjoj kulminaciji, tada njegov časovni ugao iznosi  $0^\circ$ . U donjoj kulminaciji  $t$  iznosi  $180^\circ$ .

Pošto je časovni ugao funkcija vremena, on se umjesto u stepenima, minutama i sekundama luka, može izražavati u vremenskim jedinicama. Pošto 24 sata odgovara časovnom uglu od  $360^\circ$ , onda jednom času odgovara  $15^\circ$ . Pa ako neki objekat ima časovni ugao od  $15^\circ$ , onda se može reći da taj časovni ugao iznosi jedan čas ( $1^h$ ). Isto tako, jednoj minuti vremena odgovara  $15'$ , a jednoj vremenskoj sekundi odgovara  $15''$  luka.

Časovni ugao se mijenja ravnomjerno, te zato služi za mjerenje vremena, no u ovakvom ekvatorskom sistemu nije moguće određivati položaje nebeskih tijela.



Sl.B7.

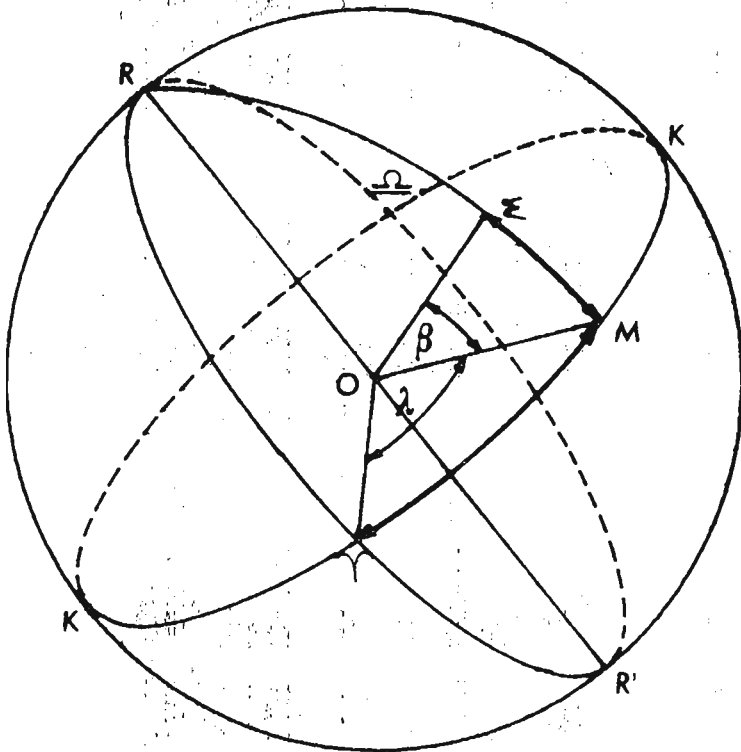
Tačnije rečeno, to bi bilo krajnje nepraktično. Zbog toga se, umjesto meridijana, za drugu osnovnu ravan uzima deklinacioni krug ravnodnevnčkih tačaka. Deklinacija se u ovom slučaju računa kao i u prethodnom. Na slici B7. oznake imaju značenje:  $O\Sigma R = \delta =$  deklinacija i  $OR \frown = \alpha =$  rektascenzija.

Nova koordinata, rektascenzija ( $\alpha$ ), računa se od proljetne tačke u smjeru suprotnom od smjera prividnog dnevnog obrtanja nebeske sfere, koji se u astronomiji zove direktan. Ona se najčešće izražava u časovima, minutama i sekundama. Pri tome, za vezu ugaonih i vremenskih jedinica, važe gore pomenute relacije.

### B.1.3 Ekliptički koordinatni sistem

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

Neka je nebesko tijelo u tački  $\Sigma$ . Njegove su koordinate  $\lambda$  i  $\beta$ .  $\lambda$  je longituda, a  $\beta$  je latituda. Longitude se kao rektascenzije računaju u smjeru suprotnom od smjera rotacije nebeske sfere. Mjerimo ih od  $0^\circ$  do  $360^\circ$ . Latituda se računaju od ekliptike do polova na obje strane. Pri tome su južne latituda negativne. Na slici B8 su:  $\Sigma OM = \beta =$  latituda,  $MO \frown = \lambda =$  longituda i  $R \frown R' \Omega R =$  latituda tačaka ravnodnevnice.

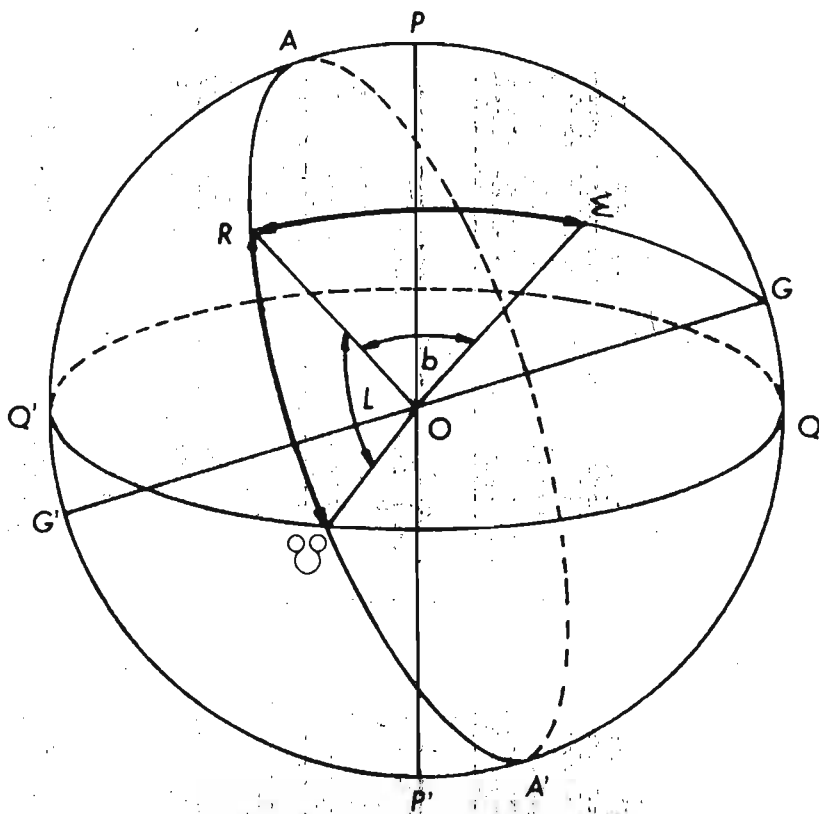


Sl.B8. Ekliptički koordinatni sistem.



## B.1.4 Galaktički koordinatni sistem

Galaktički koordinatni sistem ima veliku ulogu u zvjezdanoj astronomiji pri razmatranju strukture naše Galaksije. Njegova osnovna ravan je veliki krug nebeske sfere povučen kroz središnje dijelove trake Mliječnog puta. Na slici B9. imamo oznake:  $QQ'$  = nebeski ekvator,  $\Sigma OR$  = galaktička širina ili galaktička latituda,  $RO\odot$  = galaktička dužina ili galaktička longituda,  $AA'$  = galaktički ekvator,  $G$  i  $G'$  = galaktički polovi i  $\odot$  = presječna tačka galaktičkog i nebeskog ekvatora.



Sl.B9. Galaktički koordinatni sistem.

Mliječni put obavića nebesku sferu u vidu široke srebrenaste trake. Ova osnovna ravan se naziva galaktički ekvator i u odnosu na nebeski ekvator on je nagnut za ugao od  $62^\circ$ . Ekvatorske koordinate sjevernog galaktičkog pola su:

$$\alpha = 12^h 40^m \quad ; \quad \delta = +28^\circ$$

Galaktičku širinu dobijemo kada povučemo luk od galaktičkog pola preko nebeskog tijela do galaktičkog ekvatora. Ugao između pravca ka galaktičkom ekvatoru i pravca ka tijelu je galaktička širina. Galaktička dužina se mjeri

po galaktičkom ekvatoru u smjeru suprotnom smjeru kretanja kazaljke na satu. Počinje da se računa od jedne od presječnih tačaka nebeskog i galaktičkog ekvatora. Ta tačka se označava sa  $\odot$  i nalazi se u sazviježđu Orla. Ima koordinate u ekvatorskom sistemu:

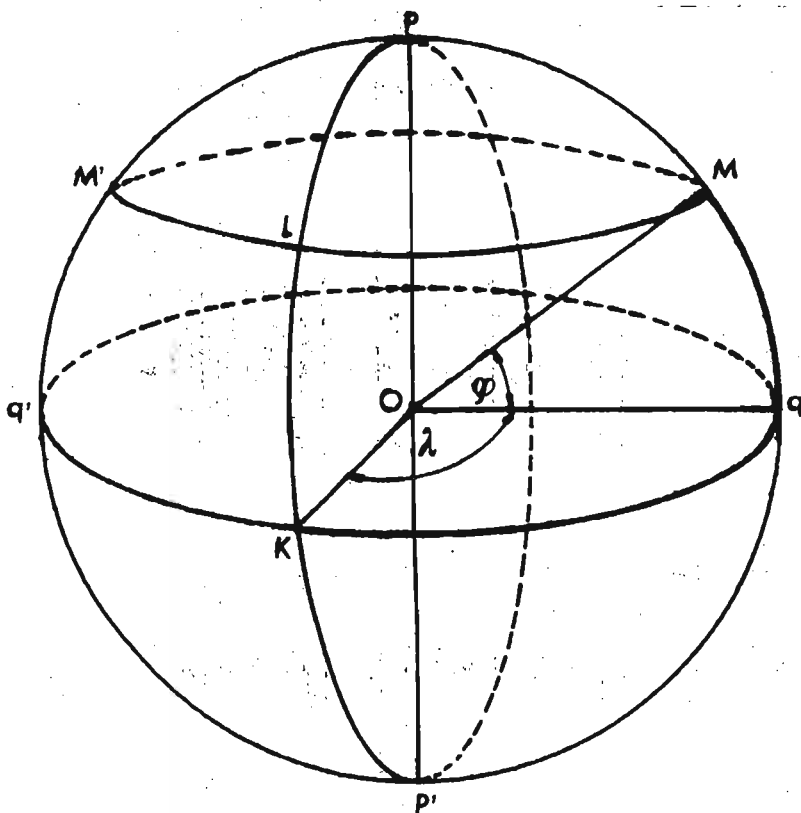
$$\alpha = 18^{\text{h}} 40^{\text{m}} \quad \delta = 0^{\circ}$$

Galaktička širina se obilježava sa  $b$  a dužina sa  $\ell$ .

## B . 2 G E O G R A F S K A Š I R I N A I D U Ž I N A

U problemima sferne astronomije određenu ulogu igraju i koordinate tačke na Zemljinoj površini kao i njihov odnos prema veličinama koje se sreću na nebeskoj sferi. Zato je potrebno reći nešto o njima. U ovim razmatranjima ćemo Zemlju posmatrati kao sferu, mada znamo da ona malo odstupa od takvog oblika. To neće uticati na vrijednost izvedenih zaključaka.

Kroz središte sfere koja predstavlja Zemlju možemo povući polarnu osovinu  $pp'$  paralelno nebeskoj polarnoj osovini. Ravan koja prolazi kroz Zemljino središte, a stoji upravno na Zemljinoj polarnoj osovini, siječe Zemljinu loptu duž jednog velikog kruga na našoj planeti koji se zove Zemljin ekvator. Označit ćemo ga sa  $qq'$  (Sl.B10.). Na Zemljinoj lopti uočimo neku tačku  $M$ .



Sl.B10. Geografska širina ( $\varphi$ ) i dužina ( $\lambda$ )

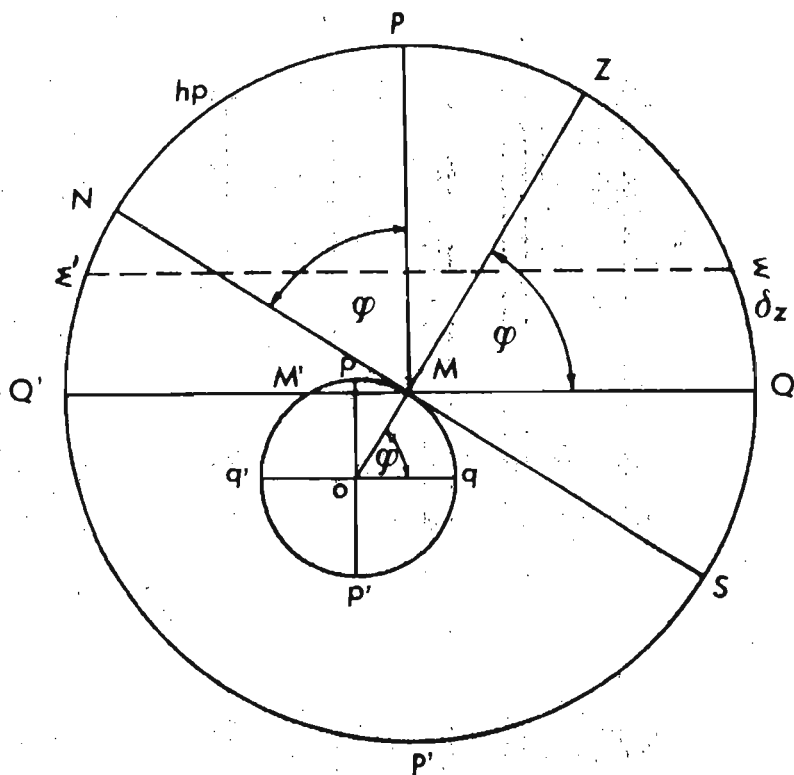
Jedna koordinata tačke M bila bi geografska dužina. To je ugao između meridijana povučenog kroz tačku M i nekog drugog meridijana uzetog za početni. Međunarodnom konvencijom je odavno prihvaćeno da taj početni meridijan bude onaj koji prolazi kroz staru Griničku opservatoriju, nedaleko od Londona. To je multi meridijan i dužine se od njega računaju na obje strane od  $0^{\circ}$  do  $180^{\circ}$ . Istočne dužine (E) se obično uzimaju kao negativne, a zapadne kao pozitivne.

Na slici B10. vidimo da je Grinički meridijan označen slovima pLkP'p. Geografska dužina tačke M je ugao KOq.

Druga koordinata je geografska širina koja se označava sa  $\varphi$ . Na slici je to ugao MOq. Geografska širina je pozitivna za tačke sjeverno od ekvatora, a negativna za tačke južno od ekvatora.

### B. 3 VEZA GEOGRAFSKIH I NEBESKIH KOORDINATA

Da bismo našli neku vezu između zemaljskih i nebeskih koordinata, posmatrajmo sljedeću sliku (B11).



Sl.B11. Veza geografskih i nebeskih koordinata.

Iz tačke M kao središta možemo konstruisati nebesku sferu. Iz M povučemo pravac ka zenitu. To je MZ. Ravan normalna na taj pravac je ravan

horizonta. Nju ćemo obilježiti sa NS. QQ' predstavlja nebeski ekvator. Paralelno sa osom pp' možemo povući svjetsku osu PP'. Sa crteža se lako može utvrditi da je geografska širina tačke M ( $\varphi$ ) jednaka luku QZ ili luku NP. Luk QZ nije ništa drugo nego deklinacija zenita u tački M. Ovi lukovi su na slici označeni sa  $\delta$  i hp.

Činjenica<sup>Z</sup> da se geografska širina mjesta posmatranja javlja u proračunavanju nekih veličina sferne astronomije olakšava pojedina razmatranja. Posmatrajmo sliku B11. Na njoj je dat izgled nebeske sfere. Uočimo tačku  $\Sigma$  na nebeskoj sferi u momentu njene gornje kulminacije. Očigledno je da vrijedi:

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

gdje su  $\varphi$  = geografska širina,  $\delta$  = deklinacija tačke  $\Sigma$ , a z njeno zenitno rastojanje. Ako se nebesko tijelo nalazi u donjoj kulminaciji (tačka  $\Sigma'$ ) onda vidimo da iz svega ovoga možemo da izvedemo relaciju:

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

$$180^\circ = \delta + z + \varphi$$

#### B . 4      P R I V I D N O   G O D I Š N J E   K R E T A N J E   S U N C A U O D N O S U   N A   Z V I J E Z D E

Ako se redovno posmatra zvjezdano nebo, lako se može primjetiti da se ono postepeno mijenja. Pojedina sazviježda u određeno doba prestaju biti vidljiva, iščezavaju na zapadu, dok se druga pojavljuju na istoku. To ukazuje da se Sunce pomjera među zvijezdama u direktnom smjeru (prividno, jer se u stvari radi o pravom kretanju Zemlje), i pri tome se njegova rektascenzija stalno mijenja. Još se lakše mogu opaziti promjene njegove deklinacije. U ljeto se Sunce pomjera ka sjeveru, a zimi ka jugu. Ako bilježimo putanju kojom se središte Sunca kreće tokom jedne godine, vidjećemo da ono opiše ekliptiku.

Osnovni položaji Sunca u toku njegovog godišnjeg kretanja dešavaju se u slijedeće datume: 21. marta je proljetna ravnodnevnicica. Tada Sunce siječe nebeski ekvator u tački  $\Upsilon$ . Nakon toga ono prelazi sa južne na sjevernu nebesku poluloptu. Ovaj datum je ujedno početak proljeća u krajevima sjeverno od ekvatora.

Tada je rektascenzija Sunca  $0^h$  a deklinacija  $0^\circ$ . 22. juna je ljetni solsticij. Sunce se nalazi na maksimalnoj daljini od ekvatora i njegova deklinacija je  $+23^\circ 30'$ . Rektascenzija mu iznosi  $6^h$ . Na sjeveru je to početak ljeta. 23. septembra počinje jesen, a Sunce se ponovo nalazi na ekvatoru u jesenjoj tački. Tada je jesenja ravnodnevnicica. Njegova rektascenzija je  $12^h$ , a deklinacija  $0^\circ$ . Konačno, 22. decembra je zimski solsticij, rektascenzija

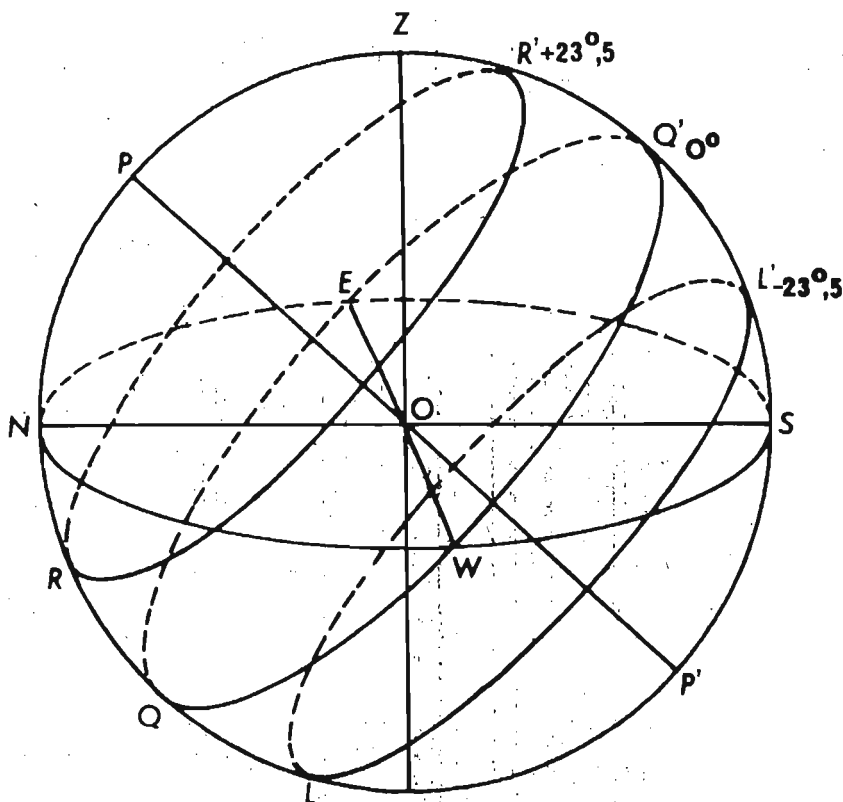
Sunca je  $18^h$ , a deklinacija  $-23^\circ$ . Na slici B12 imamo

QQ' = nebeski ekvator,

RR' = prividna dnevna putanja Sunca 22. juna,

QQ' = prividna dnevna putanja Sunca 21. marta  
i 23. septembra,

LL' = prividna dnevna putanja Sunca 22. decembra



Sl.B12. Prividne putanje Sunca u danima 22. juna, 21. marta, 23. septembra i 22. decembra

U periodu od 21.3. do 23.9. dan je duži od noći. Sunce izlazi i zalazi sjeverno od istočne, odnosno, zapadne tačke. 22.juna je najduži dan. Od 23.9. do 21.3. Sunce izlazi južno od istočne tačke, a zalazi južno od zapadne tačke. Dan je kraći od noći. 22. decembra je najkraći dan. U vezi sa ovim prividnim godišnjim kretanjem Sunca stoje godišnja doba, tj. njihova promjena.

Za vrijeme svog godišnjeg kretanja, Sunce prolazi kroz 12 sazviježda koja čine tzv. zodijački pojas. To su: Ovan, Bik, Rak, Lav, Djevica, Vaga, Škorpion, Strijelac, Jarac, Vodnjak i Ribe. Za njih se u astronomiji koriste sljedeće oznake:

Ribe ♋	Blizanci ♊	Djevica ♍	Strijelac ♐
Ovan ♈	Rak ♋	Vaga ♎	Jarac ♏
Bik ♉	Lav ♌	Škorpion ♏	Vodnjak ♊

B . 5 A S T R O N O M S K O M J E R E N J E V R E M E N A

Čovjek je oduvijek težio da na neki način mjeri vrijeme. U najranijem periodu ljudske istorije neka osobita tačnost nije bila ni potrebna, ali se postepeno tome sve više težilo. Pojedine periodične pojave, kao što je prividna rotacija nebeske sfere, omogućile su da se dođe do raznih vremenskih jedinica. Danas se u astronomiji koristi nekoliko vrsta vremena.

B.5.1 Zvezdano vrijeme

Ovaj sistem računanja vremena zasniva se na rotaciji naše planete. Ovo periodično kretanje možemo smatrati ravnomjernim jer precizna posmatranja ne pokazuju odstupanja veća od 0.005 sekundi za jedan obrt. Osnovna jedinica je zvezdani dan. Taj se dan djeli na 24 zvezdana časa, svaki zvezdani čas 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 ravnodnevnice. Sam trenutak gornje kulminacije uzima se za početak zvezdanog dana, a časovni ugao proljetne tačke govori o proteklom vremenu. Tako, kao primjer, ako je taj časovni ugao  $30^{\circ}$ , onda to znači da su protekla  $2^h 0^m 0^s$  zvezdanog vremena. Obično se zvezdano vrijeme obilježava slovom "s".

Inače, jedan zvezdani dan ima  $23^h 56^m 04^s$  srednjeg sunčevog vremena, koje koristimo u svakodnevnom životu.

Posmatrajmo sliku B13 i neko tijelo u tački  $\Sigma$ . Vidimo sa slike da vrijedi relacija

$$s = t + \alpha$$

Malopredašnja formula važi ako je nebesko tijelo zapadno od meridijana. Ukoliko se tijelo nalazi istočno od meridijana, onda važi relacija:

*определено географическим меридианом?*  $s = \alpha - t$  sl. B13:  $360^{\circ} - \alpha_1 = t_1 - S$

Kada tijelo kulminira onda je njegov časovni ugao  $t=0$  i vrijedi:

$$s = \alpha$$





$$T_{\odot} = t_{\odot} + 12^h$$

Ovo vrijeme, nažalost, ima nedostatak u tome što se dužina pravog Sunčevog dana u toku godine mijenja. Prividno godišnje kretanje Sunca je odraz kretanja Zemlje oko njega. Pošto je putanja Zemlje eliptična, to se njena brzina u toku godine mijenja. Sem toga, Zemljina putanja je nagnuta prema ravni nebeskog ekvatora, pa kad bi se Zemlja i ravnomjerno okretala, njen se časovni ugao ne bi mijenjao ravnomjerno. Zbog toga pravi sunčev dan ima različitu dužinu u toku 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 definiše, kao, vremenski razmak između dvije uzastopne gornje kulminacije srednjeg sunca. Srednje vrijeme se mjeri časovnim uglom srednjeg sunca. Srednji dan ima 24 srednja časa, 1440 srednjih minuta i 86 400 srednjih sekundi.

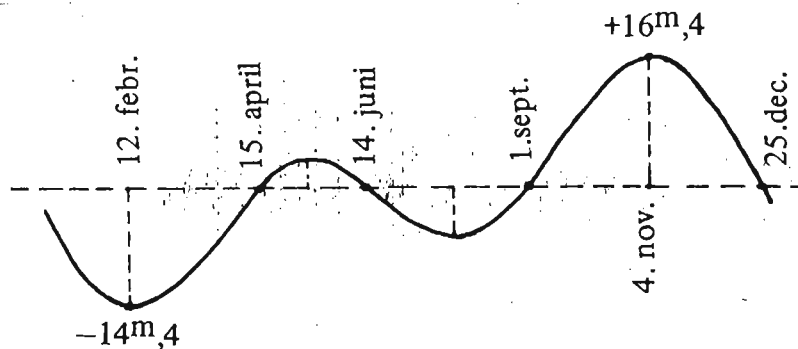
U običnom životu za početak srednjeg dana uzima se ponoć, tj. trenutak donje kulminacije srednjeg sunca. To je tzv. građansko vrijeme. Ako srednje vrijeme označimo sa "m", a građansko sa "T<sub>m</sub>", onda vrijedi relacija

$$T_m = m \pm 12^h.$$

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

Srednje vrijeme, na Griničkom meridijanu, se naziva "srednje griničko vrijeme" ili "svjetsko vrijeme" i označava sa UT.

Da bismo mogli prelaziti sa pravog na srednje vrijeme, potrebno je poznavati njihovu razliku. Ta razlika je jednaka razlici rektascenzija centra



Sl.B14. Vremenska jednačina

pravog i centra srednjeg sunca. Obično se ta razlika naziva vremenska jednačina. Ako pravo vrijeme označimo sa  $t_{\odot}$ , a srednje sa m, jednačina vremena će glasiti:

$$\eta = m - t_0$$

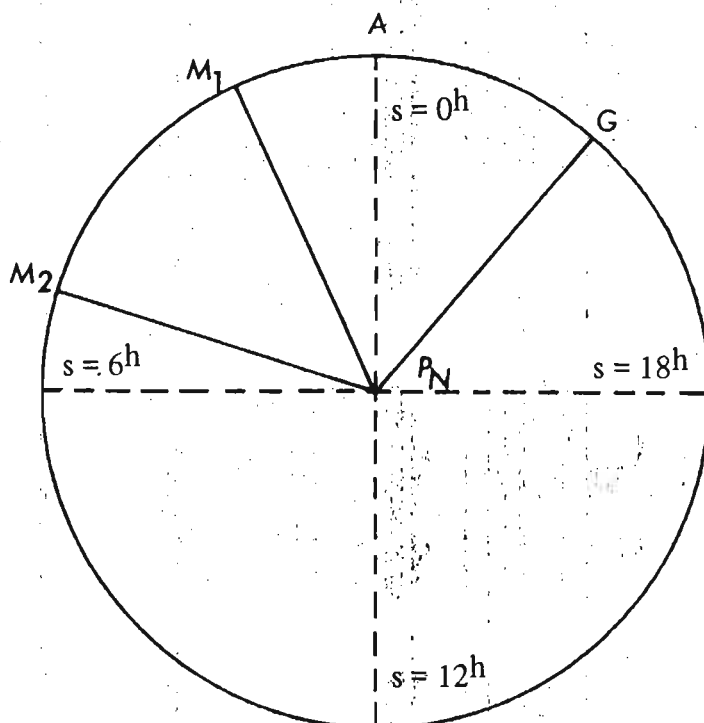
Određivanje jednačine vremena je veoma složen posao, jer treba uzeti u obzir mnogobrojne nepravilnosti kretanja Zemlje. Jednačina vremena pokazuje broj minuta i sekundi koje treba dodati pravom vremenu da bismo dobili srednje vrijeme. Te vrijednosti su obično date u astronomskim efemeridama.

Na grafikonu (Sl.B14.) data je promjena vremenske jednačine. Vidi se da vremenska jednačina u toku godine ima dva minimuma i dva maksimuma. Tako 12. februara ona ima vrijednost  $-14^m.4.$ , a 4. novembra  $+16^m.4.$

### B.5.3 Mjesno i zonsko vrijeme

Očigledno je, da proljetna tačka neće proći kroz meridijan istog časa za sve posmatrače na Zemlji, jer svaki posmatrač ima svoj meridijan. (Ona će proći istog trenutka za sve posmatrače koji su na istom Zemljinom meridijanu). Zvezdano vrijeme će se razlikovati, u zavisnosti od geografske dužine.

Neka je na slici B15. predstavljena Zemljina lopta gledana sa strane gdje se nalazi sjeverni pol ( $P_N$ ).



Sl.B15.

Pretpostavimo da se tačka proljetne ravnodnevnice nalazi u pravcu meridijana  $P_N A$ . Tada je na tom meridijanu zvjezdano vrijeme jednako  $0^h$ . Sa  $s_2$  označićemo zvjezdano vrijeme na meridijanu  $P_N M_2$ , a sa  $s_1$  zvjezdano vrijeme na meridijanu  $P_N M_1$ .  $P_N G$  je Grinički meridijan. Očigledno je da vrijedi relacija:

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

gdje su:  $\lambda_2$  geografska dužina mjesta  $M_2$ , a  $\lambda_1$  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  $t_2$  časovni uglovi tačaka  $M_1$  i  $M_2$ . Zvjezdano, pravo, srednje i građansko vrijeme zavise od geografske dužine mjesta iz koga se računaju. Tako smo došli do pojma mjesnog vremena. Postoji dakle, mjesno, zvjezdano, pravo, srednje i građansko vrijeme. Iz praktičnih razloga u svijetu se danas koristi zonsko vrijeme. Takvih zonskih ili pojasnih vremena ima 24. Svako zonsko vrijeme je u stvari, mjesno građansko vrijeme jednog od meridijana sa dužinom od  $0^\circ$ ,  $15^\circ$  itd. do  $180^\circ$ . Oni se nazivaju srednji meridijani. Jugoslavija se nalazi u zoni srednjeevropskog vremena, koje se od griničkog razlikuje za jedan sat (na više).

U Jugoslaviji je, po uzoru na druge evropske zemlje, uvedeno tzv. ljetno vrijeme dodavanjem jednog časa u periodu od marta do septembra.

#### B.5.4 Svjetsko i efemeridno vrijeme

Svjetsko vrijeme predstavlja srednje sunčevu griničko vrijeme računato od griničke ponoći. Kako smo već rekli, označava se sa UT od engl. Universal Time. Do nedavno ono se koristilo kao osnovno vrijeme u astronomskim tablicama (efemeridama). Precizna posmatranja su pokazala da Zemlja usporava svoju rotaciju i da se zbog toga dan produžava za  $0^s.0016$  u razmaku od 100 godina. Pored ovoga postoje i neki drugi poremećaji koji utiču na rotaciju naše planete.

Zbog toga se ukazala potreba da se nađe neko vrijeme koje bi teklo ravnomjerno. Uvedeno je efemeridno vrijeme čije su jedinice strogo konstantne. Efemeridno vrijeme je jednako zbiru svjetskog vremena i vremenske popravke, tj.

$$E.T. = U.T. + T$$

Tačna vrijednost popravke  $T$  može se dobiti na osnovu preciznih posmatranja Mjeseca. Popravka  $T$  može biti pozitivna i negativna, te je, recimo, 1971. godine ona iznosila oko  $+39^s.0$ . Kao što vidimo, ona je relativno mala

i, kod mjerenja gdje se ne traži velika preciznost, možemo se i dalje koristiti svjetskim vremenom.

### B.5.5 Atomsko vrijeme

Neravnomjernost odvijanja periodičnih procesa u makrokosmosu (rotacija Zemlje, revolucija Zemlje oko Sunca, kretanje Mjeseca oko Zemlje i sl.) dovela je do potrebe da se tačnost računanja vremena nađe u mikrokosmosu. Tako su, najprije, konstruisani kvarcni časovnici kod kojih se puštanjem električne struje izaziva visokofrekventno oscilovanje izuzetne pravilnosti. Kod ovakvih časovnika moguće je dostići tačnost od  $10^{-6}$  sekundi. Još su precizniji atomski časovnici kod kojih se koriste elektromagnetna treperenja, nastala u atomima, pri kvantnim prelazima među pojedinim energetskim nivoima. Tačnost ovakvih uređaja iznosi od  $10^{-11}$  do  $10^{-12}$  sekundi.

Kao etalon danas se uzimaju treperenja atoma jednog izotopa metala ceziuma (izotop 133). Vrijeme mjereno u tom sistemu naziva se atomsko vrijeme. Za osnovnu jedinicu tog 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 ceziuma 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 časovnom službom, upoređivanjem svih atomskih časovnika sa navedenim etalom. Pri tome se dužina tropske i kalendarske godine, kojima se služimo u svakodnevnom životu, i dalje određuje astronomskim metodama. Obično se 31. decembra, a nekada i 30. juna, na kraju dana, unosi popravka u okviru koje se toj godini dodaje ili oduzima jedna sekunda, kako bi se astronomski određeno vrijeme uskladilo sa atomskim.

## B . 6 K A L E N D A R

Kalendar za astronome predstavlja način računanja vremena pomoću dužih vremenskih razmaka. Naziv potiče od latinske riječi Calende, kojom su Rimljani obilježavali prvi dan svakog mjeseca. Astronomija je djelomično i nikla iz takvih i sličnih potreba u ranim periodima ljudske civilizacije.

Osnovna duža vremenska jedinica od dana je tropska godina. To je vremenski razmak između dva uzastopna prolaza središta Sunca kroz tačku proljetne ravnodnevnicе. Na sličan način se definiše zvjezdana godina. To je vremenski period u toku koga Sunce završi svoj put na nebeskoj sferi i ponovo dođe u isti položaj u odnosu na neku zvijezdu. Zvjezdana godina ima 365.25636 sunčevih dana. Tropska godina ima 365.24220 sunčevih dana, tj. kraća je od zvjezdane godine za oko 20 minuta. (U oba slučaja mislimo na srednje sunčeve

dane). Iz praktičnih razloga su uvedene još i jedinice: sedmica i mjesec.

U toku istorije bilo je raznih kalendara kao što su lunarni, solarni i njihove kombinacije.

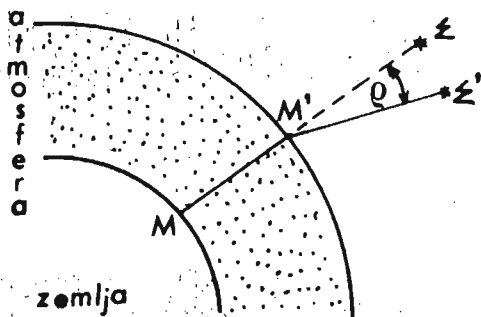
Savremeni kalendar se zasniva na kretanju Sunca. U doba Rimljana koristio se kalendar kod koga je godina imala 364 dana. Svake dvije godine dodavao se jedan prekobrojni mjesec da se uspostavi pravilan odnos između (ovakve) kalendarske i prirodne tropske godine. Ova dopuna nije pravilno sprovedena, pa se vremenom datum sve manje slagao sa stvarnim vremenom. Julije Cezar je proveo reformu kalendara i uveo godinu od 365 dana, a svake četiri godine dodavan je jedan prestupni dan. Julijanska godina od 365.25 srednjih sunčevih dana je nešto duža od tropske. Nakon nekoliko vijekova razlika je postala toliko velika da se moralo nešto poduzeti.

Tako je došlo do uvođenja gregorijanskog kalendara. Uveo ga je papa Gregor XIII 24. februara 1582. godine. On se i dan danas koristi, a uzeto je da je od godina kojima se završavaju vijekovi (1600, 1700, 1800, 1900 itd.) prestupna tek svaka četvrta. Ni gregorijanski kalendar nije tačan, ali se tek nakon 3333 godine nakupi razlika od jednog dana između gregorijanske i tropske godine.

Radi usaglašavanja raznih sistema računanja vremena, uveden je tzv. julijanski period. On u sebe uključuje 7890 julijanskih godina. Uzima se da je početak julijanskog perioda 1. januar 4713. godine prije nove ere. Julijanski period se široko koristi u astronomiji i izražava se u broju julijanskih dana proteklih od početka julijanskog perioda.

## B . 7    A S T R O N O M S K A    R E F R A K C I J A

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  $\Sigma M'$  (Sl.B16), naziva se astronomska refrakcija.



Sl.B16. Uprošćen izgled pojave astronomske refrakcije.

Refrakcija je naročito izražena kod tijela koja se pri posmatranjima nalaze nisko nad horizontom. Na slici B16. je uprošćen izgled pojave, jer se atmosfera sastoji iz mnogo slojeva različite gustine. Svaki od tih slojeva (onda) različito prelama zrake. Refrakcija mnogo utiče na prividno pomjeranje nebeskog tijela i zato je potrebno poznavati je, i uračunavati kod mjerenja. Kod grubljih proračuna visina nekog tijela, dovoljno je koristiti se sljedećom formulom:

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

Ovdje je  $\rho$  = refrakcija, a  $z$  - zenitno rastojanje tijela.

Gornja formula ima tačnost 0'.1 ukoliko visina posmatranja tijela nije manja od 20°. Ukoliko je visina tijela 10°, tačnost je oko 1', a pri manjim visinama tačnost je veoma mala, jer pri visini od 0°  $\operatorname{ctg} 0^\circ$  postaje beskonačno veliki. U astronomskim efemeridama sa obično daju tabele refrakcije. Tabela izgleda ovako:

Zenitno rastojanje	Refrakcija	Zenitno rastojanje	Refrakcija
0°	0'	80°	5'18"
10°	0'10"	89°	18'09"
30°	0'34"	89°30'	29'26"
60°	1'041"	90°	34'54"

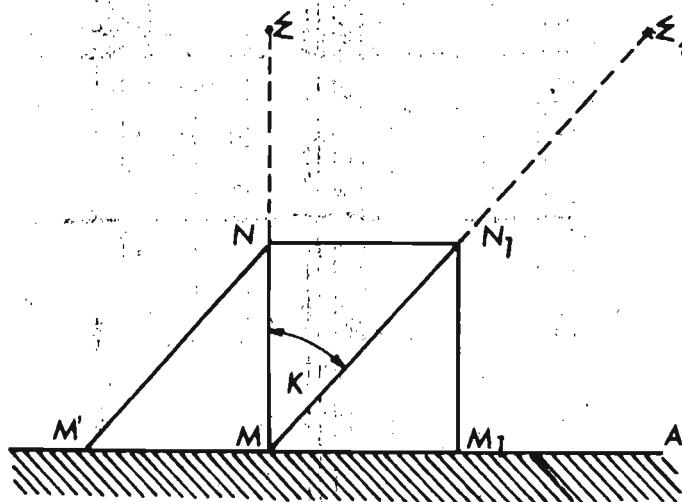
## B . 8      A S T R O N O M S K A      A B E R A C I J A

Svjetlost se kreće konačnom brzinom koja približno iznosi 300 000 km/s. Zemlja se oko Sunca kreće brzinom od oko 30 km/s. Ove dvije činjenice uslovljavaju pojavu astronomske aberacije (ovu aberaciju treba razlikovati od optičke). Nebeska tijela ne nebu, vide se u pravcima, koji se razlikuju od onih u kojima bismo ih vidjeli kad bi Zemlja mirovala, ili kad bi brzina svjetlosti bila beskonačno velika.

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

Neka je na slici B17. zvijezda u tački  $\Sigma$ . 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 $\Sigma$ . Svjetlosni zrak, zbog svoje konačne brzine, neće pasti u središte vidnog polja teleskopa koji je uperen u pravcu MN. Da bi zvijezdu iz tačke  $\Sigma$  vidjeli u pravcu središta vidnog polja

teleskopa, potrebno je instrument nagnuti za neki ugao. Time teleskop dovodi-  
mo u pravac  $M'N$  ili  $MN_1$ . Posmatrač će onda vidjeti zvijezdu u pravcu  $MN_1$  u  
tački  $\Sigma_1$ .



Sl.B17. Astronomska aberacija.

Ugao između pravog pravca  $M\Sigma$  ka zvijezdi i prividnog pravca  $M\Sigma_1$  naziva  
se ugao aberacije  $K$ . On je određen izrazom:

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

Ako je  $v$  brzina posmatrača, a  $c$  brzina svjetlosti, onda je:

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

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

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

Ova formula predstavlja specijalan slučaj kada je kretanje normalno na  
pravac prostiranja svjetlosti od zvijezde. Tada se ugao aberacije naziva



konstanta aberacije. Prema savremenim mjerenjima konstanta godišnje aberacije iznosi:

$$K = 20''.50$$

Što se tiče dnevne aberacije prouzrokovane rotacijom Zemlje, njena vrijednost je:

$$K_d = 0''.32$$

Gornja relacija za dnevnu aberaciju daje njenu veličinu na ekvatoru. Za neku tačku sa geografskom širinom  $\varphi$  ona će biti:

$$K_d = 0''.32 \cos \varphi$$

Pojavu aberacije otkrio je engleski astronom Bredli, posmatrajući zvijezdu Draconis. Treba znati da i godišnja i dnevna aberacija imaju uticaj na zvjezdane koordinate.

## B . 9 P R E C E S I J A Z E M L J E

Ovu pojavu otkrio je još Hiparh, starogrčki astronom, poznat kao sastavljač prvog zvjezdanog kataloga. On je opazio da se proljetna tačka pomjera po ekliptici.

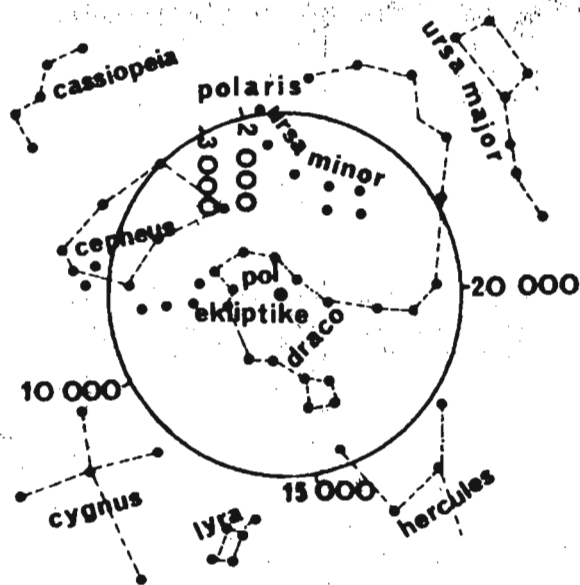
Do pojave precesije dolazi zbog kretanja zemljine ose u prostoru. To kretanje je složeno iz više manjih pomjeranja, pa tako imamo više vrsta precesije. Glavna ili luni-solarna precesija nastaje usljed dejstva privlačnih sila Sunca i Mjeseca. Pošto Zemlja ima oblik rotacionog elipsoida, onda, privlačno dejstvo Sunca i Mjeseca neće se jednako manifestovati na sve tačke naše planete. Posmatraćemo, radi jednostavnosti, samo djelovanje Sunčeve privlačne sile. Posmatrajmo sliku B18.

U odnosu na ravan ekliptike Zemlja je nagnuta za neki ugao  $ROP$ .  $RR'$  predstavlja osu ekliptike, a  $PP_1$  osu Zemlje. Sunce jače djeluje na tačku  $Q$  nego na tačku  $Q'$ .

Kad bi Zemlja mirovala, onda bi, zbog dejstva privlačne sile, došlo do toga da bi se njen ekvator poklopio sa ravni ekliptike. Dejstvo privlačne sile u tački  $O$ , karakteriše sila  $q$ . Pošto Zemlja rotira, do toga ne dolazi. Ako se ova dva kretanja slože 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 period od oko 25 800 godina i to se naziva platoniska godina. Godišnje pomjeranje proljetne tačke usljed precesije iznosi oko  $50''.27$  u toku stoljeća. Nebeski pol se kreće među zvijezdama opisujući





Sl.B19. Pomjeranje nebeskog pola kao posljedica precesije.

vnog kretanja, opiše na nebu jednu malu elipsu. Ovo kretanje ima period od 18 godina i 8 mjeseci. Treće kretanje je planetska precesija. Sastoji se u djelovanju planeta na zemljino kretanje oko Sunca.

### B. 10 GEOCENTRIČNI I HELIOCENTRIČNI SISTEM SVIJETA

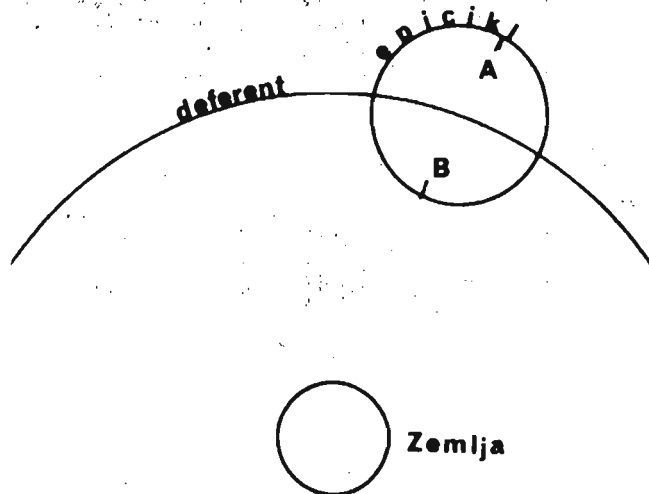
Posmatranja neba i pojava na njemu započela su još u praskozorje ljudske civilizacije. U tim dalekim trenucima zore čovječanstva, bilo je mnogo očiju, koje su svoje neispunjene želje i težnje za srećom, tražile među zvijezdama. Među hiljadama tih dalekih treperavih svjetova nije bilo teško zapaziti sjajne planete koje su se pomjerale među zvijezdama.



Sl.B20. Planetarna petlja.

Stari narodi su tako poznavali Merkur, Veneru, Mars, Jupiter i Saturn. U doba procvata starih civilizacija javila se potreba da se nekim sistemom objasni složeno kretanje planeta. Jedna od pojava, koja je naročito unosila poteškoće kod objašnjavanja, bilo je retrogradno kretanje planeta. Posmatranja su pokazivala da planete, u svom kretanju među zvijezdama, prave neku vrstu petlje. Jedna takva petlja je prikazana na slici 22.

Aleksandrijski astronom, Klaudije Ptolomej (II vijek p.n.e.) je u svom znamenitom djelu *Almagest* (*Almagest* je naziv arapskog prevoda njegovog djala) objavio objašnjenje planetskih kretanja. Na tome se zasniva njegov sistem svijeta. U središtu svega nalazi se Zemlja. Oko nje, po kristalnim sferama, kreću se Mjesec, Sunce i planete. Planete se pri tome kreću tako da oko neke tačke na svojoj putanji, istovremeno, prave kružno kretanje. To je prikazano na crtežu B21.

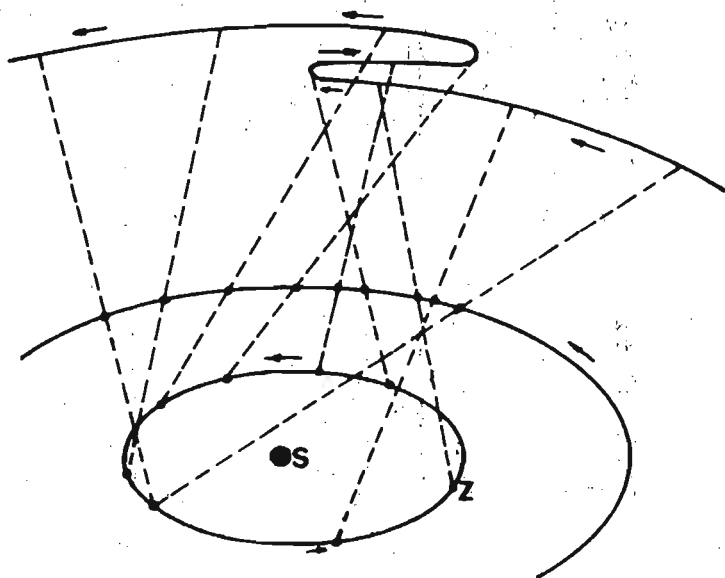


Sl.B21. Ptolomejovo objašnjenje kretanja planeta.

Kada se planeta nalazi na luku gdje leži tačka A, njeno kretanje će biti direktno, tj. u istom smjeru u kome se ona kreće oko Zemlje. Kada se, pak, nađe u području blizu tačke B, onda je njeno kretanje retrogradno, i ona počinje da pravi petlju. Ovo je bila izvanredna geometrijska konstrukcija koja se, kao što je odavno poznato, ne slaže sa pravom slikom. Međutim, za gruba posmatranja u tim vremenima, ona je bila dovoljna da objasni kretanje planeta.

Kasnija posmatranja su ukazivala na nepravilnosti u kretanjima planeta koja ovako jednostavna slika nije mogla objasniti. Zato su uvedeni novi epicikli i planete su se po njima kretale po zamršnim putanjama. To je dovelo do sumnje u ispravnost Ptolomejevog sistema, a te sumnje su krunisane pojavom Kopernika.

Nikola Kopernik uvodi drugačije shvatanje o kretanju planeta. Po njemu, Zemlja, i sve planete, kreću se oko Sunca po kružnim orbitama. Zemlja se ujedno okreće oko svoje ose i ta osa je nagnuta prema ravni njene putanje oko Sunca. Planetske petlje sa javljaju zato što mi posmatramo planete sa Zemlje koja je, takođe, u pokretu.



Sl.B22. Nastanak planetskih petlji.

Kopernikov ili heliocentrični sistem svijeta je dugo vodio bitku za svoje priznanje. Među naučnicima koji su doprinijeli da se ovaj pogled na svijet probije i ozvaniči, veliku ulogu su odigrali Đordano Bruno i Galileo Galileji. Zbog svojih ideja Đordano je bio spaljen kao jeretik, a Galileo se javno morao odreći svog naučnog djela. Ali, sve ovo nije moglo da zaustavi neumitni hod istine, koja uprkos svim suprotnim težnjama krči sebi put.

## B . 1 1    K E P L E R O V I    Z A K O N I

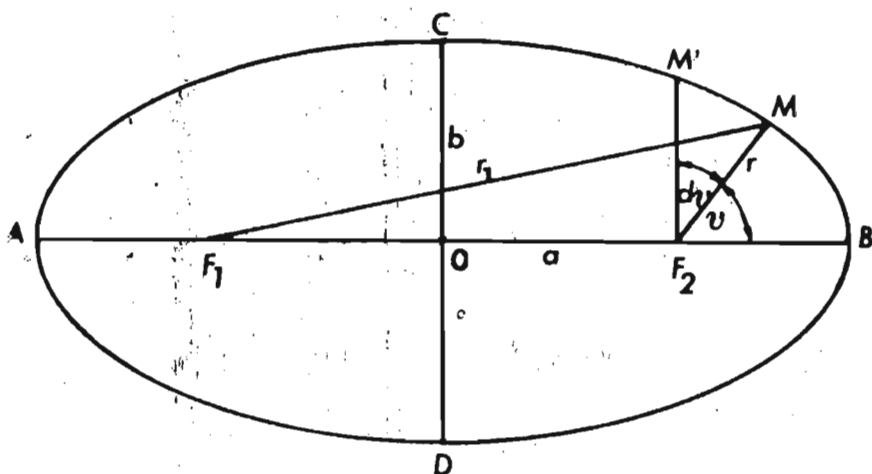
Na osnovu posmatranja velikog danskog astronoma Tiha Brahea, Johan Kepler je došao do svoja tri čuvena zakona o kretanju planeta. Kao kamen temeljac poslužila mu je planeta Mars, čije je kretanje on pokušao da dovede u vezu sa njegovom kružnom putanjom oko Sunca. Kada u tome nije uspio, on je

## DODATAK B

pretpostavio da se Mars i sve druge planete kreću po elipsama, a ne kružnicama, kako se prvobitno pretpostavljalo. On je zatim formulisao svoja tri zakona:

- I. Planete se oko Sunca kreću po eliptičnim putanjama u zajedničkoj žiži tih elipsa nalazi se Sunce.
- II. Radius vektor, povučen od Sunca do planete, za isto vrijeme opiše jednake površine.
- III. Kvadrati vremena obilaska pojedinih planeta oko Sunca proporcionalni su trećim stepenovima velikih poluosa njihovih putanja.

Ove zakone je potrebno izraziti matematički. Posmatraćemo elipsu na slici B23. Ona predstavlja putanju neke planete.



Sl.B23. Elipsa za dokazivanje Keplerovih zakona.

Oznake na slici predstavljaju sljedeće elemente:

- AB = velika poluosa elipse
- CD = mala poluosa elipse
- F<sub>1</sub> i F<sub>2</sub> su žiže elipse

Ako je F<sub>2</sub> u težištu Sunca, onda je A afel, a B perihel planetske putanje. Sa "a" ćemo označiti veliku, a sa "b" malu poluosu elipse. Onda imamo:

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

Broj  $e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}$  naziva se numerički ekscentričitet elipse. Iz gornjeg izraza se može odrediti  $b^2$

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

Ovdje je  $p$  parametar elipse. Ako neku tačku  $M$  elipse spojimo sa žižama  $F_1$  i  $F_2$  i označimo radius vektore sa  $r_1$  i  $r$ , onda važi:

$$r_1 + r = 2a$$

Ovo gore proizilazi iz same definicije elipse. Ugao " $v$ " na slici B23 se naziva prava anomalija planete u tački  $M$ .

Iz trougla  $F_1F_2M$  slijedi prema kosinusnoj teoremi:

$$r_1^2 = (2ea)^2 + r^2 + 4 ear \cos v$$

Pošto je  $r_1 = 2a - r$  onda je:

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

ili

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

Ovo je jednačina planetske putanje i ujedno matematska interpretacija prvog Keplerovog zakona. U oba slučaja kada je ugao  $v = 90^\circ$ , tj.  $\pi/2$  onda izraz glasi:

$$r = p$$

Drugim riječima, parametar  $p$  je, u stvari, dužina radiusa vektora normalnog na veliku poluosu elipse. Sada ćemo potražiti matematski izraz za drugi Keplerov zakon. Neka je  $dv$  priraštaj ugla  $v$ , tj. priraštaj prave anomalije koji odgovara beskonačno kratkom intervalu  $dt$ . Za vrijeme tog intervala radius vektor  $r$  opiše površinu  $\frac{1}{2} r^2 dv$ , trougla  $MF_2M$ .

Količnik  $\frac{dF}{dt} = \frac{1}{2} r^2 \frac{dv}{dt}$  zove se sektorska brzina.  $dF$  je beskonačno

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

$$\frac{dF}{dt} = \frac{1}{2} C \quad \text{ili} \quad r^2 \frac{dv}{dt} = C$$

a ovo predstavlja matematički izraz za III Keplerov zakon.

Ako sa  $T$  označimo vrijeme koje je potrebno planeti da obide oko Sunca, onda će ona za to vrijeme opisati površinu  $\pi ab$  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 izraziti na slijedeći način:

$$\frac{a_1^3}{a_2^3} = \frac{T_1^2}{T_2^2} \quad \text{ili} \quad \frac{a_1^3}{T_1^2} = \frac{a_2^3}{T_2^2} = C$$

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

## B . 1 2 N J U T N O V Z A K O N G R A V I T A C I J E

Iako su Keplerovi zakoni dobro opisivali kretanje planeta, oni nisu dali odgovor na pitanje zašto se one uopšte kreću oko Sunca. Javilo se već tada više pretpostavki o tome, ali, ni jedna od njih nije imala strogo naučni karakter. Uglavnom se radilo o nekim pretpostavkama lišenim fizikalne i matematske osnove.

Veliki engleski fizičar i astronom, jedan od najvećih naučnika svih vremena, Isak Njutn, je dao svoj zakon gravitacije. U djelu "Matematički principi prirodne filozofije" Njutn je kretanje planeta objasnio dejstvom jedne univerzalne sile koju je nazvao gravitacija. Njegova genijalnost se sastoji u tome što je on pretpostavio da ta ista sila na Zemlji uzrokuje padanje predmeta. Da bi dokazao identičnost sile zemljine teže i sile koja zadržava planete na njihovim orbitama, Njutn je iskoristio kretanje Mjeseca.

Naš prirodni satelit je pri kretanju oko Zemlje podvrgnut dejstvu njene privlačne sile. Centripetalno ubrzanje Mjeseca bi trebalo iznositi  $60^2$ , tj. 3600 puta manje od ubrzanja sile teže, jer se Mjesec nalazi na udaljenosti od oko 60 zemljinih radiusa. Sa "g" ćemo označiti ubrzanje sile teže na površini



Zemlje, a sa "w" centripetalno ubrzanje orbitalnog kretanja Mjeseca.  
Može se pisati:

$$\frac{W}{g} = \frac{1}{60^2} \quad W = \frac{981}{3600} = 0.27 \text{ cm/s}^2$$

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:

$$W = \omega^2 R$$

$$R \approx 60.6370 \text{ km}$$

$$T \approx 27.3 \text{ dana}$$

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

$$w = \omega^2 R = \frac{2\pi}{27.3} \frac{2\pi}{86400} 60.6370 \cdot 10^5 \text{ cm/s}^2$$

$$w = 0.27 \text{ cm/s}^2$$

Vidimo da se iz oba razmatranja dobije ista vrijednost, što znači da su sila koja drži Mjesec na orbiti i sila teže jedna te ista sila. Ili, to znači, da je sila teže identična privlačnoj sili koja postoji između svih tijela u svemiru.

Možemo zaključiti da je sila koja djeluje na bilo koju planetu upravo proporcionalna masi planeta, a obrnuto proporcionalna kvadratu njenog rastojanja od Sunca. Prema trećem zakonu mehanike (zakon akcije i reakcije) sila kojom Sunce djeluje na planetu jednaka je po veličini sa silom suprotnog smjera, kojom planeta djeluje na Sunce.

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

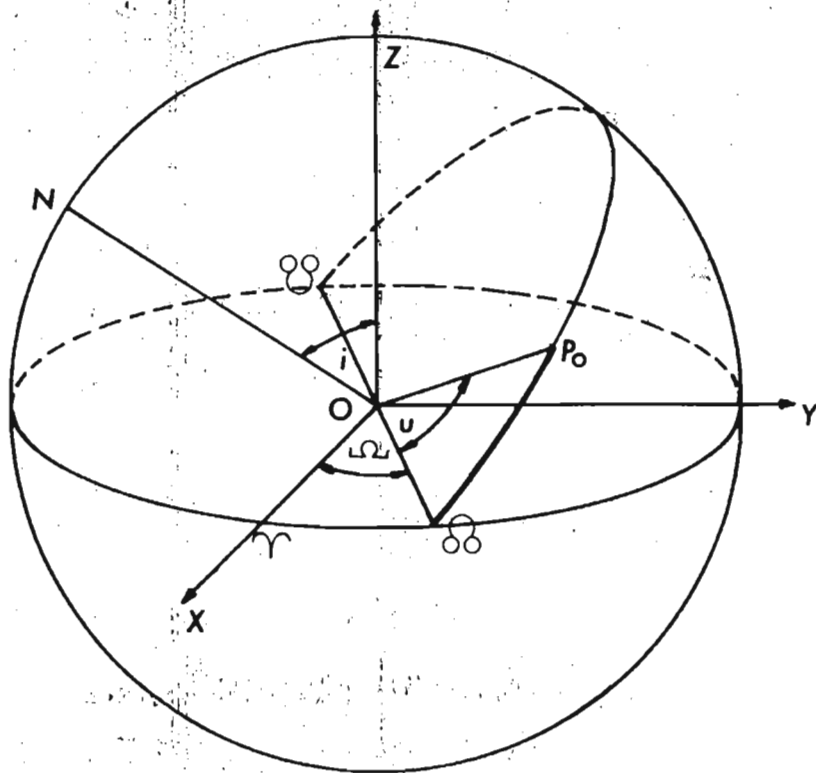
Konstanta G se naziva konstanta gravitacije i veličina ima vrijednost:

$$G = 6.673 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2 \text{ kg}^{-2}$$

Tako smo došli do fundamentalnog Njutnovog 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.

### B.13 ELEMENTI ORBITA PLANETA SUNČEVOG SISTEMA

Pošto su orbite planeta i njihovih satelita elipse, onda se, pri određivanju elemenata njihovih orbita, koriste osnovne veličine koje karakterišu elipsu. Postoji šest takvih elemenata. Da bismo to bolje shvatili posmatrajmo sljedeći crtež. (Slika B24).



Sl.B24. Elementi orbita planeta Sunčevog sistema.

U središtu Sunca (0) postavljen je pravougli koordinatni sistem XYZ. Osa OX je u pravcu proljetne tačke, a osa OY je u pravcu tačke sa dužinom  $90^\circ$ . Osa OZ nalazi se u pravcu sjevernog pola ekliptike. Linija presjeka orbite planete sa ekliptikom naziva se linija čvorova, a tačke presjeka ravni orbite sa ekliptikom su čvorovi. ♊ je uzlazni, a ♋ silazni čvor.

Položaj ravni orbite određen je uglom "i" između te ravni i ravni ekliptike. Na slici je "i" predstavljeno kao ugao između ose ekliptike i ose planetske orbite. Ugao "i" naziva se naklon ili nagib orbite i mjeri se od  $0^\circ$  do  $180^\circ$ .

Ugao  $\Omega$  je dužina ili longituda uzlaznog čvora i računa se od  $0^\circ$  do  $360^\circ$  u pravcu povećanja dužine (tj. suprotno kretanju kazaljke na satu ako se posmatrač nalazi na sjevernom polu ekliptike, a časovnik u koordinatnom početku).

Linija  $OP$  predstavlja pravac prema perihelu orbite. Ugao između  $OP$  i linije čvorova određuje položaj orbite. Označava se sa " $u$ " i zove rastojanje perihela od čvora. Računa se od  $0^\circ$  do  $360^\circ$  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.

Literatura

1. Rudaux, L., Vocouler, G.: Larouse Encyclopedia of Astronomy.
2. Hoyle, F.: 1962, Astronomy. London: Rathbone books Ltd.
3. Miczaika, Rg., Sinton, M.W.: 1961, Tools of the Astronomer. Mass.: Harvad University Press.
4. Wood, F.B., ed.: 1963, Photoelectric Astronomy for Amaterurs. New York: Macmillan Company
5. Menzel, H.D.: 1959, Our Sun. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
6. Sky & Telescope Library of Astronomy: 1967, The Origin of the Solar System. New York: Macmillan Company (Third Printing).
7. Howard, N.E.: Handbook for Telescope making.
8. Voroncov-Veljaminov, B.A.: 1969, Očjerki o vsjiljenoj. Moskva: Nauka.
9. Batten, H.A.: 1973, Binary and Multiple Systems of Stars. Oxford: Pergamon Press.
10. Struve, O., Lindz, B., Pilans, E.: 1967, Elementarnaja astronomija. Moskva: Nauka.
11. Popov, P.I., Voroncov-Veljaminov, B.A., Kunickii, R.V.: 1967, Astronomija. Moskva: Nauka (Peto izdanje).
12. Agekjan, R.A.: 1970, Zvjizdi, galaktiki, metagalaktika. Moskva: Nauka.
13. Sklovski, I.S.: 1966, Sverhnovi zvezdi. Moskva: Nauka.
14. Sciama, D.W.: 1973, Modern Cosmology. Cambridge: Cambridge Univ. Press.
15. Shapley, H.: 1972, Galaxies. Cambridge, Mass.: Harvard University Press. (Thired Edition, revised by Hodge, P.W.).
16. Field, G.B., Arp, H., Bahcall, J.N.: 1973, Redshift Controversy. W.A. Benjamin Inc.
17. Strohmeir, W.: 1972, Variable Stars, Oxford: Pergamon Press.
18. Barlow, B.V.: 1975, The Astronomical Telescope. London: Wykeham Publications Ltd.
19. Snake, J.D., Shaft, D. (editors): 1974, IAU Symposium 58 - The Formation and Dinamics of Galaxies. Dordrecht: Reidel Publ. Comp.
20. Dewitt-Morrete, C. (ed.): 1974, IAU Symposium 64 -Gravitational Radiation and Gravitational Collapse. Dodrecht: Reidel Publ. Comp.
21. Glasby, J.S.: 1971, Variable Stars Observer's Handbook. London: Sigvick and Jackson.
22. Dufay, J.: 1964, Introduction to Astrophysics: The stars. New York: Dover Publications Inc.
23. Verschuur, G.L.: 1974, The Invisible Universe. London: The English Universities Press Ltd.
24. Kaufmann, W.J.III: 1973, The Relativity and Cosmology, New York, Harper and Row Publishers.

25. Henbest, N.: 1983, *The New Astronomy*. Cambridge: Cambridge University Press.
26. Henden, A.A., Kaitchuck, R.H.: 1982, *Astronomical Photometry*. New York: Van Nostrand Reinhold Comp.
27. Kelly, J.B., O'Leary, B., Chaikin, A.: 1981, *The New Solar System*. Cambridge, Mass.: Sky Publishing Corporation and Cambridge University Press.
28. Dagajev, M.M., Demin, V.G., Klimišin, I.A., Čarugin, V.M.: 1983, *Astronomija*. Moskva: Prosvešćenije.
29. Bers, R., Laurance, W.F.: 1978, *Descriptive Astronomy*. New York: D. Van Nostrand Company.
30. Weigert, A., Zimmerman, H.: 1976, *Concise Encyclopedia of astronomy*. London: Adam Hilger.
31. Gašparević, R., Muminović, M.: 1982, *Astronomija za 7 razred osnovne škole*. Sarajevo: Svjetlost.
32. Pasachoff, J.M., Kutner, M.L.: 1978, *University Astronomy*. Philadelphia: W.B. Saunders Company.

INDEKS

A

abracija, 281  
 afel putanje, 288  
 Ajnštajn-Rozenov most, 217  
 albedo, 2  
 Alfven-ova teorija, 73  
 Almagest, 286  
 alumokantarati, 261  
 anastigmatski objektivni, 229  
 Andromedina maglina,  
     vidi galaksije  
 anomalija (planete), 289  
 antiapiks, 77  
 apiks, 77.  
 aplanatski sistemi, 231  
 Arecibo radio tel., 186  
 Arisa Mons, 15  
 asteroidi  
     Antigona, 18  
     C-tipa, 18  
     Ceres, 16, 18  
     Eros, 17, 18, 19  
     Ikar, 16  
     Juno, 16  
     M-tipa, 18  
     S-tipa, 18  
     Trojanci, 16  
     Vesta, 16, 18  
 astrografi, 235  
 astronomska jedinica, 49  
 atomsko vrijeme, 279

B

Barlow leća, 227  
 Barnardova zvijezda, 99-100  
 Barnard 5 (tamni oblak), 205

Beogradska opservatorija, 258  
 Berlageova teorija, 69  
 BL Lacertae objekti, 198  
 blazari, 198  
 blink komparator, 41  
 Blue Stellar Objects (BSO), 198  
 bljeskovi (na Suncu), 55-57, 190  
 bolidi, 19, 20  
 bolometarska popravka, 79  
 bolometarska zvjezdana  
     veličina, 79  
 Bonski radio teleskop, 188  
 brzina zvijezde  
     radijalna, 77  
     tangencijalna, 77

C

Cassinijeva linija, 35  
 CCD čip, 250  
 cefeide, 101, 158  
 Centaurus A (NGC 5128-radio  
     izvor), 193, 211  
 Chamberlin-Moulton-ova  
     teorija, 67  
 Chryse, 14  
 COS-B (satelit-gama zraci), 213  
 crne jame, 126, 144, 179, 213  
 crne jame (rotirajuće), 216  
 crveni pomak galaksija  
     vidi Hablov zakon

Č

časovni ugao, 267  
 čvor orbite, 58-59, 62, 292

D

Deimos, 16  
 deklinacija, 241, 267  
 deklinacioni krugovi, 263

difrakcija svjetlosti, 233  
 dijagram "period-apsolutni sjaj", 157  
 dijagram "prividni sjaj-kolor indeks", 130  
 Doplerov efekat, 154, 172, 244  
 Doradus (30), 158  
 dugoperiodične promjenljive, 105

D

Davolova jaruga (krater-Arizona), 22

E

efemeridno vrijeme, 278  
 ekliptika, 264  
 ekscentricitet, 23, 289  
 elektronski teleskopi, 250  
 eliptične galaksije, 150  
 Elysium, 12  
 Encke-ova pukotina, 35  
 entropija, 179  
 epicikli, 286  
 Epsilon Aurigae, 121-123  
 eruptivne promjenljive (UV Ceti), 111  
 ESO opservatorija, 30, 252  
 Eta Carinae (UV oblast), 210

F

Fabri leća, 248  
 fakule, 53  
 filteri  
     H alfa, 249  
     interferenciono-polarizacioni, 248  
     monohromatski, 248

polaroidni, 249  
 želatinski, 248  
 Fobos, 11, 16  
 fotografska prividna velič., 79  
 fotometri  
     fotoelektrični, 246  
     mikrofotometri, 246  
     vizuelni, 245  
 fotometrijski klin, 246  
 fotometrijski paradoks (Olbersov), 174  
 fotometrijski sistemi  
     Džonsonov UBV, 82  
     Strömgrenov ubvy, 82  
 fotomultiplikatorska cijev, 246  
 fotonska sfera, 215  
 fotovizuelna prividna veličina, 79  
 Fraunhoferove linije, 55

G

galaksije  
     Andromedina, 159, 208, 209  
     eliptične, 150  
     Haro-ove (plave), 163  
     klasifikacija Hubble-ova, 147  
     Markarijanove, 163  
     mase, 155  
     medudejstvujuće, 163, 166  
     nepravilne, 152  
     pekularne, 163  
     rotacija, 154  
     Sejfertove, 166  
     skup u Berenikinoj kosi, 168  
     skup u Djevici, 168  
     skupovi galaksija, 167  
     spiralne, 148  
     Stefanov kvintet, 164  
     stepen spljoštenosti, 151  
     (u) Trogglu, 160  
     "mostovi", 166

galaktička  
 latituda, 269  
 longituda, 269  
 Galilejevi sateliti  
 vidi Jupiterovi sateliti  
 gama zračenje, 212  
 geocentrični sistem, 285  
 geografska širina i dužina, 270  
 građansko vrijeme, 276  
 gravitacioni kolaps, 214  
 Gregorijanski kalendar, 280  
 Grinički meridijan, 271

H

H I i H II oblasti, 143  
 Hablova konstanta, 170  
 određivanje, 172  
 Hablov zakon, 170-171, 182  
 Harvardska klasifikacija, 87  
 heliocentrični sistem, 285  
 Hellas, 12  
 Hercules X-1  
 (rentgenski izvor), 222  
 Hoba meteorit, 21  
 horizont događaja, 215  
 Hoyle-ova teorija, 70  
 hromatska aberacija, 223  
 hromosfera, 55  
 Hvar opservatorija, 258

I

IC katalog, 145  
 image tube, 250  
 indeks boje, 80  
 infracrveni "cirusi", 204  
 infracrveno zračenje, 202  
 Infrared Catalogue (IRC), 202  
 IRAS (satelit), 203  
 IRS 16 (infra izvor), 144

IUE (UV satelit), 208

J

Jeans-ova plimska teorija, 69  
 Jeans-ova teorija ("cigara"), 68  
 Jodrell Bank (radio teleskop), 188  
 julijanska godina, 280  
 Jupiterovi sateliti  
 Evropa, 32, 33  
 Ganimed, 32, 33  
 Io, 32, 34  
 Kalisto, 32, 33

K

kalendar, 279  
 Kameleon I (tamni oblak), 205  
 Kant-Laplace-ova teorija, 66  
 Kasiopeja A (radio izvor)  
 116, 143, 192, 210  
 Keplerovi zakoni, 288  
 Kerr-ovo rješenje (crna jama), 219  
 Kirhofov zakon, 244  
 Klajperonov zakon, 92  
 kolaps (zvjezdani), 214  
 kolor indeks, 248  
 komete  
 Bennett, 24, 26, 29  
 dugoperiodične, 24, 26  
 Dakobini-Ciner, 19  
 Halley, 26, 29  
 IRAS-Araki-Alcock, 203  
 Kobajaši-Berger-Milon, 24  
 Kohoutek, 25-26, 30  
 kratkoperiodične, 24  
 Lexell, 203  
 Tago-Sato-Kosaka, 26  
 West, 27-30  
 komete putanje  
 eliptične, 22



- hiperbolične, 22, 23  
konstanta gravitacije, 291  
koordinatni sistemi  
  ekliptički, 268  
  ekvatorski, 266  
  galaktički, 269  
  horizontski, 265  
korona, 56, 190, 250  
  unutrašnja (K), 55-56  
  vanjska (F), 56  
koronalne rupe, 56  
koronograf, 53, 249  
kosmogonija, 64  
kosmologija, 173  
Krab maglina, 116, 200, 208,  
  210, 213  
Krab pulsar, 200-201  
Kruskalov dijagram, 218  
Kuiperova teorija, 72  
Kumova slama, 129  
kvantna efikasnost, 251  
kvark, 176  
kvazari, 195, 222
- L
- Labud A (radio izvor), 193  
lambda član, 175, 180  
latituda, 268  
longituda, 268  
Lunae Planum, 14  
Lyttleton-ova teorija, 70
- Lj
- ljetno vrijeme, 278
- M
- Magelanovi oblaci, 157  
magline  
  difuzne, 135, 158  
  Konjska glava, 137  
  M 57 u Liri, 139-140  
  NGC 7293 (Vodenjak), 138, 140  
  planetarne, 139  
  Velika maglina u Orionu,  
  135, 213  
magnetne oluje, 57  
Maksutova kamera, 240  
Maksutov-Kasegren teleskop, 240  
Mali Magelanov oblak, 102  
MERLIN (radio-teles. sistem), 190  
meteorski rojevi  
  Akvaridi, 19  
  Drakonidi, 19, 21  
  Geminidi, 203  
  Perzeidi, 19  
meniskusna sočiva  
  vidi Maksutov kamera  
Michelson-Pease-ov interferometar  
  vidi optički interferometar  
mikrokanalne ploče (UV oblast), 207  
Mira Ceti (omikron Ceti), 105  
Mjesečeva libracija  
  latitudinalna, 43  
  longitudinalna, 43  
mjesno vrijeme, 277-278  
Mjesni sistem galaksija, 156  
Mliječni put, 129  
modeli svemira  
  Lemetrov, 180  
  otvoreni, 177  
  prelazni  
  vrući svemir, 181  
  zatvoreni, 175  
montaže teleskopa  
  azimutna, 240, 255  
  ekvatorska, 240  
  engleska, 241  
  njemačka, 241  
  podešavanje, 243  
  viljuškasta, 241

N

nadir, 261  
 nebeski ekvator, 263  
 nebeska sfera, 261  
 napravnine promjenljive, 107  
 Neptunovi sateliti  
     Nereida, 40  
     Triton, 40  
 neutralni vodonik, 191  
 neutronske zvijezde, 200, 214  
 NGC katalog, 145  
 nove zvijezde, 12  
     nova Cygni 1975, 113-115, 208  
     nova Monocerotis 1975, 115  
 novima slične zvijezde, 115  
 Njutnov zakon gravitacije, 290  
 nutacija, 284

O

OA0 (Copernicus sat.), 208  
 objektivna prizma, 20, 245  
 okulari  
     Hajgensov, 233  
     Kelner, 234  
     monocentrik, 235  
     ortoskopski, 235  
     Ramsdenov, 234  
     Toles, 234  
 okultacije, 43  
 Olympus Mons, 10, 12  
 Ortov kometni oblak, 26, 204  
 opozicija  
     Marsa, 9  
 opšta teorija relativnosti, 173  
 optički interferometri, 84  
 optička rešetka, 244

P

Palatine Chasma, 37  
 Palomarski atlas, 166, 168  
 paralaksa  
     geocentrična, 42  
     Sunca, 49  
     zvijezde, 75  
 paralele, 264  
 parsek, 76  
 pasažni instrument, 275  
 patuljaste bliske galaksije, 160  
 patuljaste nove zvijezde, 110  
 pepeljasta svjetlost, 43  
 perihel putanje, 288  
 Perseus A (radio-izvor), 166, 211  
 petlja (planetarna), 285  
 Petzvalov dublet, 229  
 Planitia, 14  
 Plankova konstanta, 87  
 Plasketova zvijezda  
     (HD 47129), 84  
 Plejade, 130  
 Plutonov satelit  
     Haron, 42  
 Podkamenja Tunguska (Sibir), 22  
 Pogsonova formula  
     (za zvjezdane veličine), 78  
 polupravnine promjenljive, 106  
 pomračenja, 57  
 pomračenja Mjeseca, 63  
 pomračenja Sunca  
     djelimično, 58, 62  
     prstenasto, 58-59  
     totalno, 58  
 pomračujuće promjenljive, 119  
 pozicioni ugao  
     (kod dvojne zvijezde), 96  
 precesija Zemlje, 283  
 Proksima Centauri, 76  
 proljetna tačka, 264  
 promjenljive tipa R Coronae  
     Borealis, 109

promjenljive zvijezde, 101  
 protuberance, 53, 62, 250  
 pulsari, 143, 200, 210, 214  
 pulsirajuće promjenljive, 101

R

radijant meteorski, 19  
 radio bljeskovi (Jupiter, Sunce), 190  
 radio teleskopi, 185  
 RATAN 600 (radio teleskop), 186  
 ravan horizonta, 261  
 ravnodnevnica  
     jesenja, 272  
     proljetna, 272  
 razmjer lika  
     astro kamera, 236, 238  
 refrakcija, 280  
 rektascenzija, 240, 268  
 rektifikacija  
     vidi montaže teleskopa  
 rentgenska astronomija, 208  
 retrogradno kretanje, 240, 286  
 Rimski cesta, 129  
 RR Lyrae, 101, 103

S

S Doradus, 80, 158  
 SAS-2 (satelit-gama zruci), 213  
 Saturnovi sateliti  
     Diona, 37  
     Enceladus, 38  
     Hiperion, 37  
     Japetus, 37  
     Mimas, 38  
     Rea, 37  
     Tetis, 37, 38  
     Titan, 37  
     Triton, 37

Scor X-1 (X izvor), 209  
 Sejfertove galaksije, 166, 211  
 sektorska brzina, 289  
 siderični mjesec, 43  
 singularnost, 216  
 sinodični mjesec, 43  
 sistem u Fornaksu, 161  
 sistem u lavu, 161  
 sistem u Skulptoru, 160  
 skala prividnih veličina, 77  
 solsticij  
     ljetni, 272  
     zimski, 272  
 Space Telescope, 256  
 spektar  
     apsorpcioni, 244  
     linijski, 244  
     neprekidni, 244  
 spektralne dvojne zvijezde, 99  
 spektrograf, 244  
 spektroheliograf, 250  
 spektroskop, 244  
 spin, 191  
 spikule, 55  
 spiralne galaksije, 148  
 srednjeevropsko vrijeme, 278  
 srednje griničko vrijeme  
     vidi svjetsko vrijeme  
 srednji sunčev dan, 276  
 Stefan-Bolcmanov zakon, 80  
 sunčeva granulacija, 50  
 sunčeva konstanta, 49  
 sunčeve pjege, 50, 190  
 sunčevo vrijeme  
     pravo, 275  
     srednje, 276  
 supernove, 141, 168, 192  
 supernova iz 1604. god., 115  
 supernove  
     I tipa, 117-118  
     II tipa, 117  
 svjetski polovi, 261  
 svjetsko vrijeme (UT), 276

Š

Šmit kamera, 239  
 Šmitova teorija, 73  
 Švarcšildovo rješenje  
 (crne jame), 216

T

T-Tauri zvijezde, 133  
 Taylor-Cooke-ov triplet, 229  
 teleskopi  
     Gregorijev, 230  
     Kasegrenov, 230  
     Kude, 231  
     Njutnov, 230  
     razdvojna moć, 233  
     reflektori, 229  
     refraktori, 226  
     relativni otvor, 233  
     Ricci-Cretien, 231  
     svjetlosna moć, 233  
     uvećanje, 227  
 Terzan 2 (skup), 211  
 Tharsis, 12  
 Ticius-Bodeovo pravilo, 65, 72  
 tropska godina, 279  
 Two Micron Survey  
     vidi Infrared Catalogue

U

ugljično-azotni ciklus, 94  
 Uhuru (UV satelit SAS-1), 209  
 Uranovi sateliti  
     Ariel, 39  
     Miranda, 39  
     Oberon, 39  
     Titania, 39  
     Umbriel, 39

UT

vidi svjetsko vrijeme

V

Velika crvena pjega, 31  
 veliki prasak, 181  
 vertikal, 261  
 Very Large Array (VLA), 189  
 Vinov zakon pomjeranja, 81  
 Virgo A (radio-izvor), 195  
 vizuelne dvojne, 96  
 Volfov dijagram, 136  
 Volf-Rajetove zvijezde, 112  
 vremenska jednačina, 276

Z

zavisnost period-apsolutni  
     sjaj, 102, 172  
 Zeemanov efekat, 52  
 zenit, 261  
 zodijački pojas, 273  
 zodijačka svjetlost, 22, 72  
 zonsko vrijeme, 277, 278  
 zračenje  $3^0\text{K}$ , 181  
 zvjezdane asocijacije  
     O-asocijacije, 133  
     T-asocijacije, 133  
 zvjezdana godina, 279  
 zvjezdano naselje  
     I i II tipa, 153  
 zvjezdani skupovi  
     kuglasti, 130, 133  
     rasijani, 130  
 zvjezdano vrijeme, 274

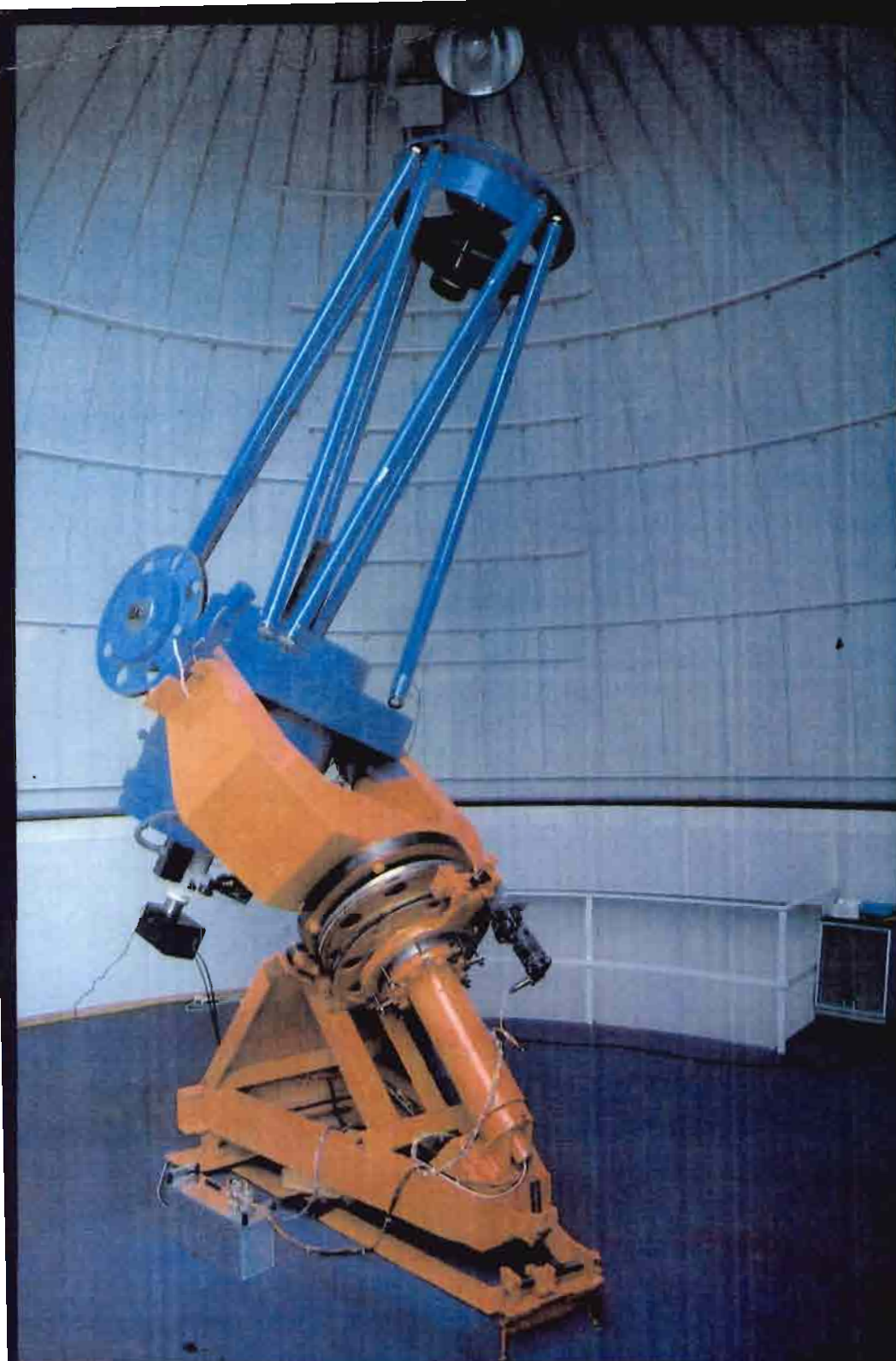
W

Weizsacker-ova teorija, 70  
 Wilsonov efekat, 52

Wolfov broj, 50-52

Y

Yerkes opservatorija, 226



62 cm Cassegrain  
teleskop Astro-  
nomske opserva-  
torije u Sarajevu

U ovoj knjizi možete čitati o najnovijim dostignućima iz oblasti astronomije. Koja su nova saznanja o planetama Sunčevog sistema prikupile međuplanetarne letjelice? Od čega su komete građene? Knjiga vas na lak način upoznaje sa svijetom zvijezda. Kako se one rađaju i umiru? Zašto mjenjaju sjaj?

Grada Mliječnog puta. Zvezdani skupovi i planetarne magline. U poglavlju o vanagalaktičkoj astronomiji dat je prikaz svih tipova galaksija. Hablov zakon širenja svemira, njegov postanak, evolucija i smrt. Šta su crne jame? Šta je to horizont događaja? Dva dodatka: Sferna astronomija i Instrumenti.