

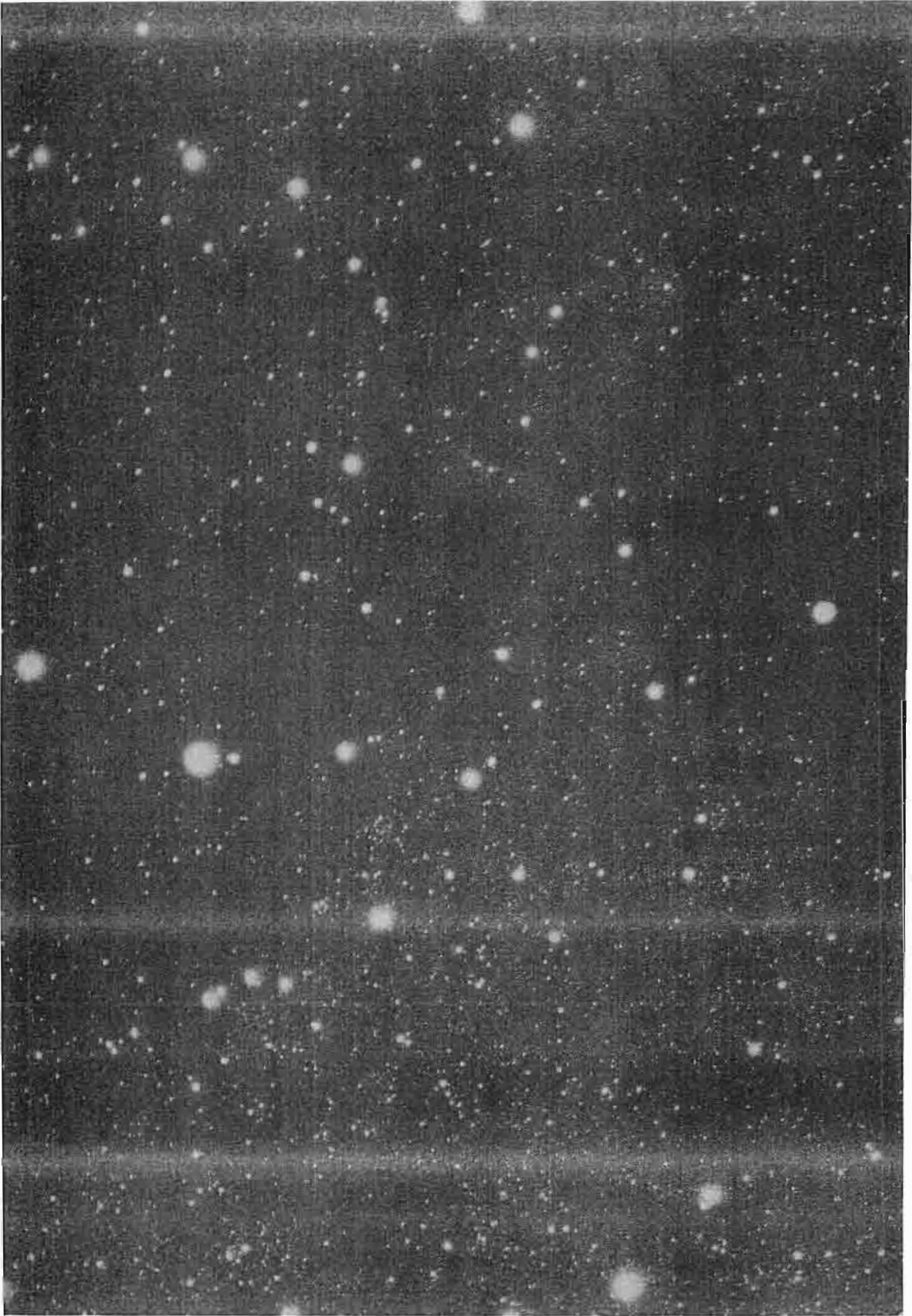
CENTAR ZA DRUŠTVENU DJELATNOST UNIVERZITETA U SARAJEVU

UNIVERZITETSKO ASTRONOMSKO DRUŠTVO

PRIRUČNIK ZA ASTRONOME AMATERE



SARAJEVO 1980



SAVEZ MLADIH ISTRAŽIVAČA-POKRET NAUKU MLADIMA
SAVEZ ASTRONOMSKIH DRUŠTAVA SR BiH i
UNIVERZITETSKO ASTRONOMSKO DRUŠTVO SARAJEVO

P R I R U Č N I K Z A A S T R O N O M E
A M A T E R E

Ovu Publikaciju sufinansirali su SIZ Nauke SR BiH,
Savez astronomskih društava SR BiH i Gradska kon-
ferencija Narodne tehnike Sarajevo

Sarajevo, 1980

SAVEZ MLADIH ISTRAŽIVAČA - POKRET NAUKU MLADIMA
UNIVERZITETSKO ASTRONOMSKO DRUŠTVO SARAJEVO
SAVEZ ASTRONOMSKIH DRUŠTAVA SR BiH

Edicija sopstvenih izdanja: KNJIGA 5

Serijski broj: Astronomija: KNJIGA 2

Izdavački savjet: Akademik Edhem Ćamo, predsjednik
Akademik Tihomir Vuković
Prof.dr. Ljubomir Berberović
Prof.dr. Vladimir Miličević
Prof.dr. Zdravko Pujić
Prof.dr. Veselin Petrović
Prof.dr. Ibrahim Bušatlija
Prof.dr. Orhan Zupčević
Prof.dr. Albin Papo
Stanimir Bogojević

Redakcioni odbor: Ratko Vukičević
Rifat Hadjiselimović
Stanko Perasić
Jozo Bošnjak
Muhamed Muminović
Stanimir Bogojević
Krajnc Davorin

AUTORI TEKSTOVA:

Muhamed Muminović: (1, 2, 3, 4, 5, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29,
30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41,
42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 54)
Grubić Nebojša: (14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 52, 53, 55, 57, 59,
71, 72, 73, 74, 75, 76)
Mulić Amir: (60, 61, 62, 63, 64, 65)
Arnautović Faruk: (6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13)
Krahdžić Denij: (67, 68, 69, 70)
Čeljo Suad: (49, 50, 51)
Podić Anes: Messier-ov katalog
Pilav Sanela: (56, 58, 66)

Glavni i odgovorni urednik: MUHAMED MUMINović

Tehnički saradnici: Arnautović Faruk, Krahdžić Denij i
Živković Gordana

ŠTAMPA: Univerzitetско astronomsko društvo, Savez za tehničko vaspitanje CEDUS-a, Štamparija "Oslobodjenje"
Štamparija "GSP" Sarajevo

Za štampariju: Kempf Dragan

P r e d g o v o r

Ovaj Priručnik izrađen je prije svega za potrebe učesnika Ljetne škole astronomije, Sarajevo 1980. godine. Međutim, tekst je pisan sa namjerom da posluži šire i da mu aktuelnost ne bude vezana za određeni vremenski period. Obzirom da je u pisanju učestvovao veći broj autora i da su svi bili vezani za rokove, to postoje izvjesne neujednačenosti u tekstu na čemu se izvinjavamo. Nadamo se da će ovo ipak korisno poslužiti amaterima kao dobra pomoćna literatura u kojoj će naći dio odgovora na pitanja koja ih zanimaju u astronomiji.

Urednik

UVOD U ASTRONOMSKU FOTOGRAFIJU

1. M e t o d i s n i m a n j a M j e s e c a i p l a n e t a

Fotografisanje Mjeseca i planeta je relativno popularna stvar kod amatera poslednjih godina, mada je diskutabilno da li je veća korist od ovakvih ili vizuelnih posmatranja. U svakom slučaju fotografija ima svoje mjesto u ovoj oblasti.

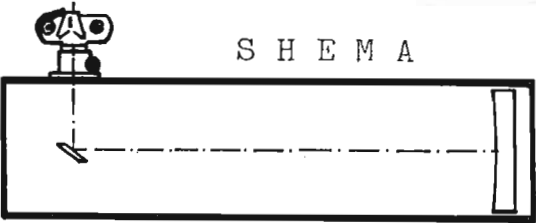
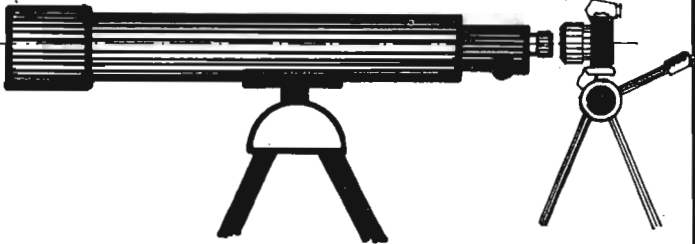
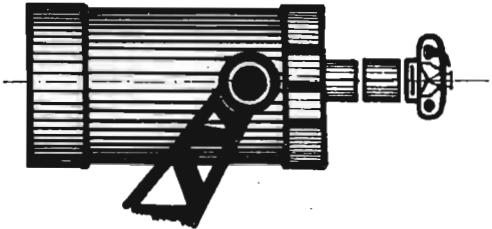
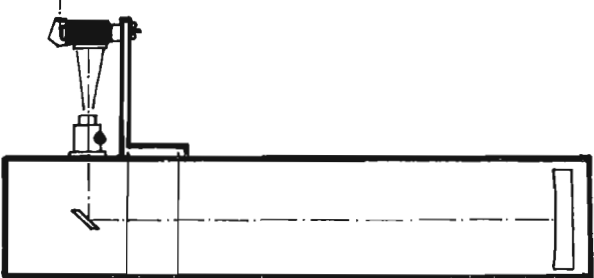
U principu svaki astronomski teleskop može biti iskorišten za fotografski rad. Najvažnija stvar je fokusno rastojanje. Ovaj faktor je posebno značajan kod snimanja planeta čiji su prividni sikovi jako mali. Preporučljiva dužina fokusa za ovakva snimanja bila bi 2 metra.

Postoje dva glavna načina snimanja Mjeseca i planeta. Fokusni metod je, u stvari, korištenje teleskopskog objektiva kao kamere. Fotografska kamera je tada smještena u fokusu i nema nikakvih okulara. Moguće je jedino dodati Barlow leću /negativno sočivo/ koja će produžiti fokus za 2 ili više puta. Projekcioni metod pruža mogućnost znatnijeg uvećanja snimanog objekta direktno na filmu. U tom slučaju u blizini fokusa teleskopa postavlja se neki okular /ili objektiv fotoaparata/ koji projektuje uvećanu sliku na emulziju.

Za obje ove metode snimanja mogu se koristiti komercijalne refleksne kamere sa kojih su odstranjeni originalni objektivi /osim ako se koriste umjesto okulara/. Takođe je moguće konstruisati sopstvenu kameru za ovakve svrhe.

Upotreba komercijalnih fotografskih aparata je, razumije se, praktičnija i pruža bolje rezultate kod ovakvih snimanja. Naročito je pogodno koristiti refleksne kamere kod kojih se izoštravanje vrši direktno i kod kojih je moguće posmatrati objekt snimanja i birati najpogodniji trenutak za eksponiranje. Snimanje direktno u fokusu sa teleskopima srednjih fokusnih rastojanja /1000-2000 mm/ pogodno je za Mjesec. Međutim, planete su suviše male, tako da nema smisla pokušavati dobijanje njihovih likova na ovakav način. Projekcioni metod je tu superiorniji. Veoma je važno da okular kojim vršimo projiciranje na film bude što je moguće boljeg kvaliteta. Dobre rezultate moguće je postići korištenjem leća od kino projektora ili objektiva aparata za uvećanje u fotografiji. Naravno, projekcioni metod znači ujedno i gubitak sjaja, odnosno produženje ekspozicije. Pri tom sjaj lika opada sa kvadratom uvećanja. To praktično znači da ako lik neke planete projekcijom povećamo za dva puta, to će rezultujuća slika biti 4 puta slabijeg sjaja.

Kod snimanja Mjeseca je jasno da faktor produženja ekspozicije ne igra naročitu ulogu. Kod planeta ova činjenica može da bude vrlo bitna. Nestabilnosti u atmosferi i neravnomjernost u radu časovnog mehanizma teleskopa mogu

Metod	Formula za efek. fokusno rastojanje	S H E M A
Direktno u fokusu	Efek. fokusno rastojanje je jednako fokusu teleskopa	
Afokalni	Efek. fokusno rastojanje je jednako fokus teleskopa puta fokus kamere kroz fokus okulara	
Okularska projekcija	Efek. fokusno rastojanje jednako je fokus teleskopa puta dalj. proj. kroz fokus okulara	
- "-	- " -	

da dovedu do zamućenosti kod dužih ekspozicija /nekoliko sekundi/.

Na kraju ovog razmatranja bilo bi korisno dati jednostavnu formulu koja će nam omogućiti da na osnovu poznatih podataka izračunamo dimenziju lika Mjeseca ili planete u centimetrima i udaljenost tog lika od okulara. Označimo li sa M prečnik slike, recimo Mjeseca, na projekciji, A neka je udaljenost filma od okulara, F_o je fokalno rastojanje tog okulara i D prečnik Mjesečeve slike u fokusnoj ravni teleskopa. Tada se mogu koristiti sljedeće dvije formule:

$$M = \frac{F_o D}{x} \text{ u cm} \qquad A = \frac{F_o / f_o + x}{x} \text{ u cm}$$

Veličina x se može mijenjati. Kada je x jednako nula, tada se fokus okulara poklapa sa fokusom objektiva teleskopa. Npr. neka je fokus teleskopa 200 cm. Tada će prečnik lika Mjeseca u fokusu biti 2 cm. Neka smo koristili okular od 2 cm fokusa koji je smješten 0,1 cm unutar fokusne ravni objektiva teleskopa. Tada za ovaj slučaj dobijamo sljedeće vrijednosti:

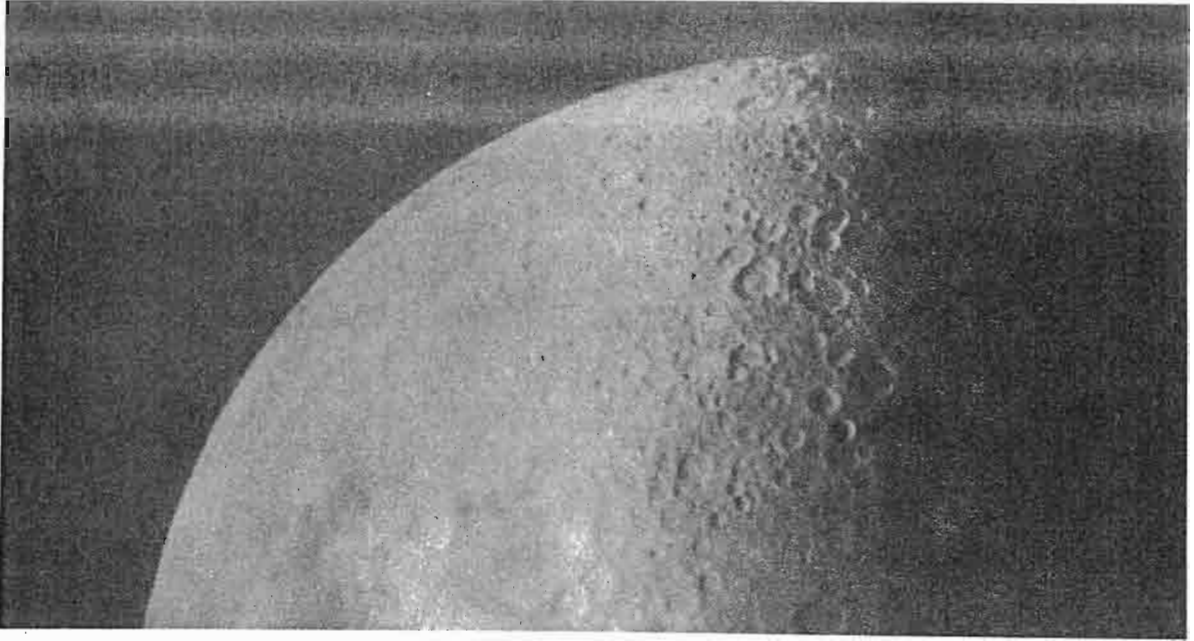
$$M = \frac{2 \cdot 2}{0,1} = 40 \text{ cm} \qquad A = \frac{2 / 2 + 0,1}{0,1} = 42 \text{ cm}$$

S obzirom na velik broj mogućih vrijednosti x uvijek je lako naći pogodan raspored gornjih veličina i izabrati onu veličinu lika koja je najpogodnija za snimanje.

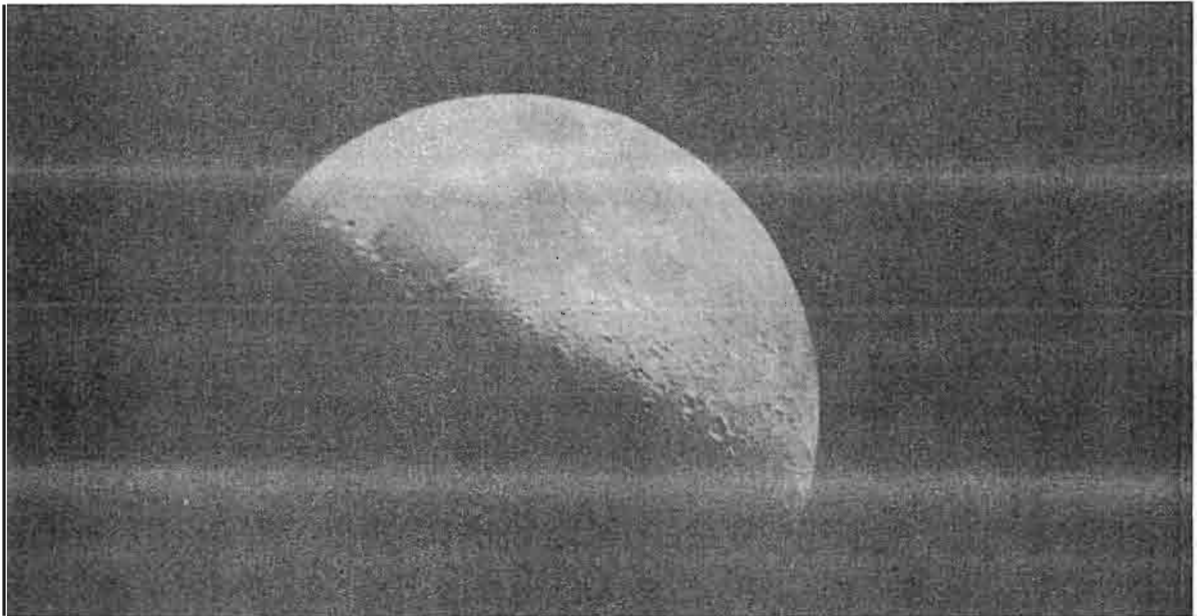
2. O d r e đ i v a n j e e k s p o z i c i j e i t e h n i k a s n i m a n j a M j e s e c a i p l a n e t a

Snimanje planeta i Mjeseca je u izvjesnoj mjeri specifičan posao i nikakvi savjeti ne mogu u potpunosti zamjeniti iskustvo stečeno samostalno. Naravno, na krajnji kvalitet mogu da utiču razni faktori. Oni najbitniji su: oštrina fokusa, vrijeme ekspozicije i laboratorijska obrada snimljenog negativa. Prije nego se počne ma kakvo snimanje, moramo biti sigurni da li nam je lik na emulziji oštar. Ako se snima komercijalnom refleksnom kamerom, tada se izoštravanje vrši direktno i mi smo u mogućnosti da posmatramo lik planete na mutnom staklu.

Ako je kamera nerefleksna ili domaće izrade tada se postupa na sljedeći način. U ležište za film postavimo razvijeni neosvjetljeni negativ film /koji je u ovakvom slučaju jednolično svjetlo siv/ i na njemu, kao na nekom projekcionom ekranu, posmatramo lik Mjeseca ili planete. Pri tome je dobro na emulzionoju strani filma oštrom iglom zaparati nekoliko linija. Malom lupom ili okularom posmatramo te linije i kada su nam one oštre vršimo pomjeranje kamere u blizini fokusa tako da postignemo da nam istovremeno i planeta i ti zarezi budu oštri.



Fotografija br. 1. Mjesec snimljen okularnom projekcijom pri uvećanju od sto puta



Fotografija br. 2. Snimak Mjeseca načinjen pri uvećanju od pedeset puta.

Kada se to postigne, kamera se učvrsti u položaju oštine i prelazi se na stavljanje filma i eksponiranje. Odmah je jasno da je ovo nešto komplikovaniji i dugotrajniji postupak.

Vrlo je važno zapamtiti značajan savjet. Prije svake ekspozicije poželjno je ponovo vršiti izoštravanje. Greška fokusiranja od jednog milimetra dovoljna je da dovede do zamućenog lika. Na oštrinu lika mogu u značajnoj mjeri da utiču i dva vanjska faktora. To su atmosferska turbulencija i vibracije teleskopa tokom ekspozicije.

Poznato je da se vazdušne mase neprekidno kreću i da slojevi različitih temperatura ponekad mogu biti veoma izraženi. S obzirom da se svjetlost prelama u atmosferi, to ovakva turbulentna kretanja prije svega utiču na sliku nekog objekta koju dobijemo u teleskopu. Pod veoma lošim atmosferskim uticajima likovi su potpuno razmrljani. Na ljudsko oko ovaj faktor ne igra toliko veliku ulogu pošto je moguće birati trenutke dobre vidljivosti /koji se u ovakvim situacijama smjenjuju sa lošim/ i pamtiti ih. Fotografija ima dokumentni karakter. Ona nam daje stanje onakvo kakvo je bilo u trenutku snimanja.

Kkada se snima sa ekspozicijama od po nekoliko sekundi, tada su šanse da turbulencija pokvari sliku veće. Zbog toga je u principu potrebno prije početka snimanja ocijeniti kvalitet noći. On se lako utvrđuje vizuelnim posmatranjem. Najbolje je ako je noć mirna i stabilna. Ukoliko to nije slučaj onda se pravi što je moguće veći broj snimaka. Pri tome se pokušavaju "uhvatiti" trenuci dobre vidljivosti i tada se vrši eksponiranje.

Korektna ekspozicija je veoma važna. Ona zavisi od svjetlosne moći /otvora/ teleskopa, od osjetljivosti emulzije i od sjaja dobijene slike. Poznato je da je svjetlosna moć odnos prečnika objektiva i fokusnog rastojanja teleskopa. Ako se snimanje obavlja projekcionim putem tada se svjetlosna moć smanjuje, a linearni razmjeri lika rastu. Tako umjesto da snimanje vršimo teleskopom od recimo fokusa 200 cm, projekcionom metodom dobijamo rezultat kao da smo snimali instrumentom fokusa npr. 20 metara. Sljedeća formula daje nam svjetlosnu moć instrumenta kod projekcije. A je rastojanje između okulara i filma, F fokusno rastojanje objektiva, O dijametar objektiva, a Fo fokus okulara koji služi za projekciju.

$$\text{Svjetlosna moć} = \frac{A F}{O F_o}$$

Osjetljivost upotrebljenog filma direktno utiče na ekspoziciju. Poznato je da sa osjetljivošću filma raste i njegova zrnatost. Snimajući Mjesec i planete mi želimo dobiti što je moguće više detalja i zbog toga zrnatost predstavlja smetnju. Zato je korištenje preosjetljivih filmova po pravilu nepreporučljivo. Kao najpogodnija emulzija javlja se ona od 17 DIN-a. Ako instrument i objekt snimanja to dozvoljavaju, onda nije loše ići i na još slabije filmove /od 13-15 DIN-a/. Kod nas nabavljivi filmovi KB 14, KB 17 i KB 21 su veoma kvalitetni i pogodni za ove svrhe.

Za određivanje vremena eksponiranja mogu da služe samo približne formule jer previše faktora utiče na to. Jedna od onih koja nam može pomoći glasi:

$$t = \frac{f^2}{S B}$$

gdje su: t trajanje ekspozicije, u sekundama, f je svjetlosna moć teleskopa, S osjetljivost filma u jedinicama ASA i B faktor sjaja za panhromatske emulzije. Za Mjesec i planete vrijednost B je data na sljedećoj tabeli:

	B
Mjesec /u fazi polumjeseca/	10
4 dana star	20
Prva četvrt	40
10 dana star	80
Pun Mjesec	220
Pomračenje Mj./polusjenka/	20
sjenka	0.005
Venera	20
Mars	12
Jupiter	25
Saturn	10

Primjer: Neka vršimo snimanje Mjeseca starog 4 dana teleskopom 1/15 u fokusu na film KB 14 /približno 25 ASA/ :

$$t = \frac{15^2}{25 \cdot 20} = 0.45 \text{ sekundi}$$

Ovo je neka srednja vrijednost ekspozicije. Uzimajući u obzir razne druge faktore potrebno je vršiti snimanje sa ekspozicijama nešto dužim od ove i nešto kraćim. Time će sigurno jedna od njih biti najpovoljnija što će se ustanoviti probom.

3. F o t o l a b o r a t o r i j s k a o b r a d a

Snimanje planeta i Mjeseca je neodvojivo vezano za procese u fotografskoj laboratoriji putem kojih mi ustvari dobijamo ono što smo željeli. Prepuštanje tog procesa drugima, ili profesionalnim fotografima, je pogrešno. Osnovni razlog je specifičnost ovakvog procesa koji se ne može obavljati automatski ili serijski, kako se to danas inače radi. Pažljivim radom, kada se zna šta se želi, moguće je iz lošijeg negativa izvući zadovoljavajući kvalitet. Prema tome, kompletan proces obrade negativa i izrade fotografija treba da obavi amater samostalno. Ukoliko nekome nedostaje znanja u toj oblasti onda može da se posluži literaturom koje o fotografiji ima dovoljno. Takođe je dobro, ukoliko se ne posjeduje vlastita improvizovana fotolaboratorija, pristupiti nekom foto klubu u školi ili gradu.

Proces razvijanja filma je najvažniji, jer se tu loše obavljen posao teško može kasnije popraviti. Dok se ne dođe do većeg znanja u ovoj oblasti najbolje je striktno se držati uputstva koja postoje za temperaturu i trajanje razvijanja, te vršiti agitaciju i ostalo što se u ovakvim slučajevima traži. Čistoća posla treba da je na visini i improvizacije sa starim razvijачima, prljavim posudama ili nezagrijanim hemikalijama nisu poželjne.

Poslije razvijanja u propisanom razvijачu, film se stavlja u prekidač i na kraju u fiksir. Preporučuje se da razvijanje obavljamo u za to predviđenim dozama, jer ručno odvijanje procesa dovodi do nepoželjnih ogrebotina.

Film se mora dobro oprati, a važno je prije sušenja provući ga kroz blagi rastvor nekog deterdženta /najbolji su oni koji se specijalno rade za takve svrhe, Agepon, Kodak Photo flo/ kako bi se odstranile suvišne kapi vode. Sušenje obaviti na toplom i prozračnom mjestu.

Proces uvećavanja i izrade fotografija je nešto lakša faza, jer greške koje tu nastanu uvijek možemo popraviti. Bitno je dobro očistiti od prašine objektiv aparata za uvećavanje i ležište za film.

Za našu svrhu veoma je važno dobiti što bolji kontrast, kako bi se razlikovali slabi detalji. Jedna od metoda za pojačanje kontrasta sastoji se u tome da originalni negativ, malo uvećan, kopiramo na negativ filma koji nije kontrastan, tj. koji je "mekši" kako se to u fotografiji kaže. Taj međunegativ se sada kopira na jako

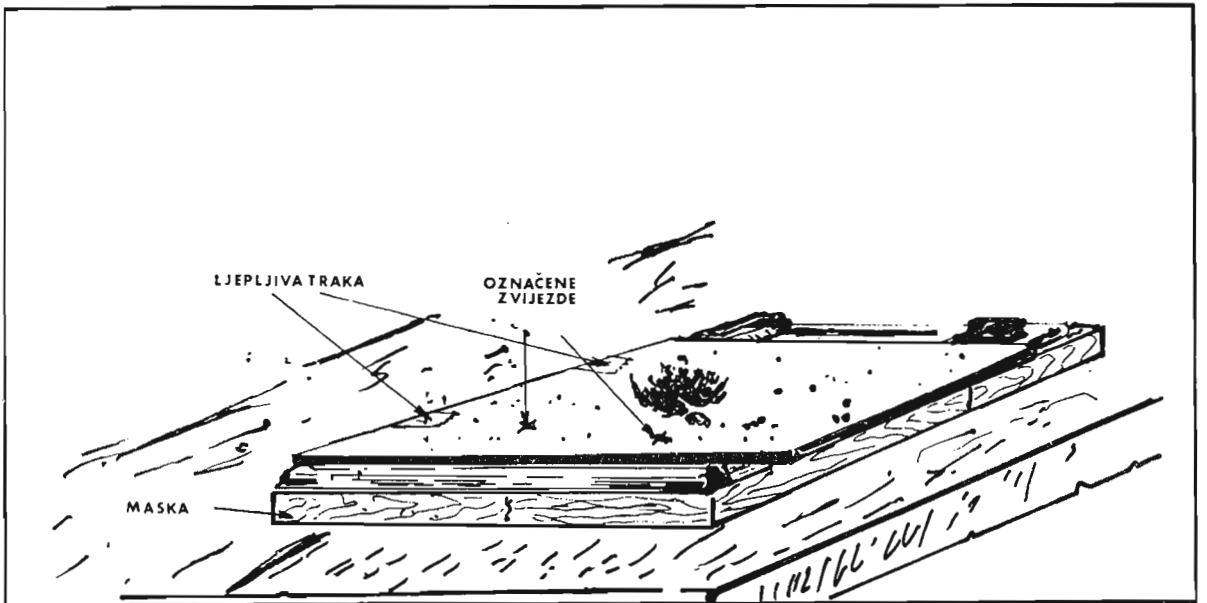
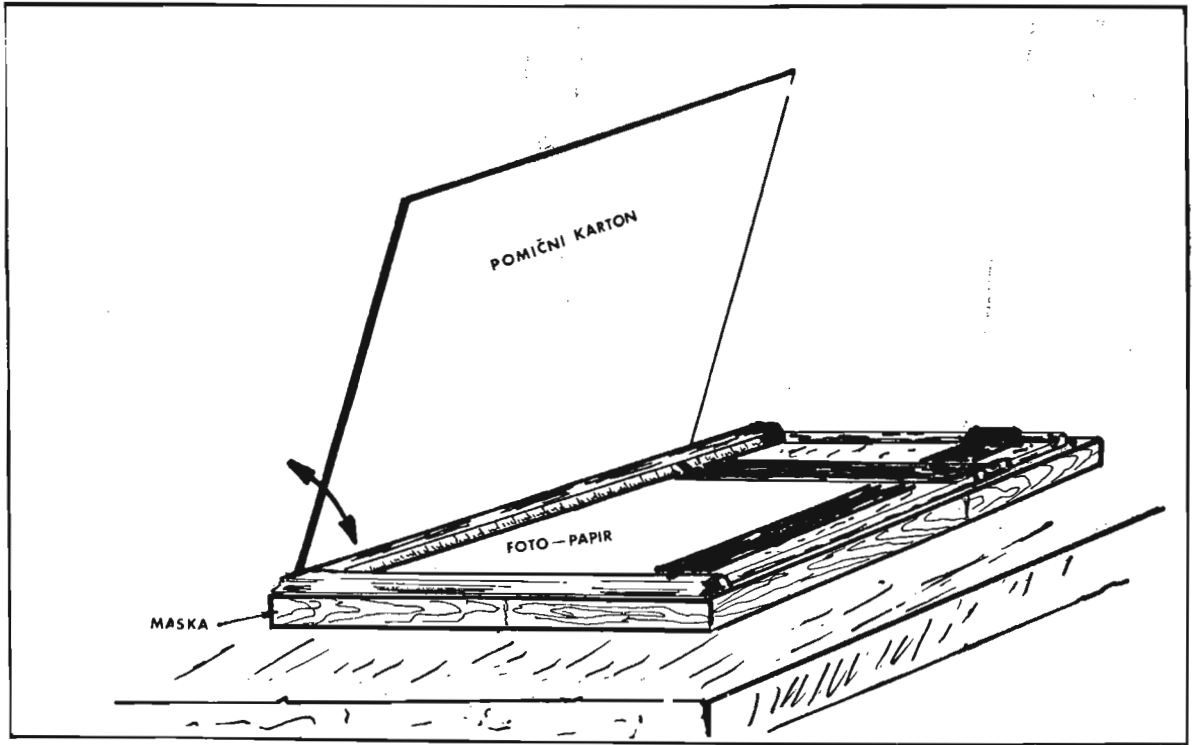
kontrastan film i opet dobijemo negativ, ali sada znatno kontrastniji. Pažljiv rad na opisan način, proba raznih filmova i slično, dovešće nas do dobrih rezultata.

Uvijek je korisno raditi na glatkom bijelom papiru što je moguće kontrastnijem. Sitni detalji se ovdje lakše uočavaju.

4. S p e c i j a l n e t e h n i k e u o b r a d i a s t r o n o m s k i h f o t o g r a f i j a

Jednom dobijeni snimci neba, bilo da se radi o zvijezdama, planetama ili drugim objektima, nisu obavezno konačni. Postoje posebne tehnike koje nam omogućavaju da popravimo kvalitet i otklonimo neke nedostatke. Dvije tehnike su posebno zanimljive. Metoda integracije negativa i fotokopiranje sa visokim kontrastom su lako izvodljive u amaterskim uslovima, pa ćemo se malo pozabaviti njima.

Tehnika integracije je, jednostavno rečeno, način izrade fotografija uz pomoć dva ili više originalnih negativa eksponiranih na isti foto-papir. Za ovu svrhu potrebna nam je maska za foto-papir koja se inače koristi u laboratorijama i sastoji se iz dva uzajamno normalno postavljena metalna rama izdjeljena na cm. Ramovi su pokretni pa se tako mogu birati razni formati. Na sljedećoj fotografiji vidljiva je jedna takva maska sa eksponiranom fotografijom. Od kartona se izradi šablon kakav je prikazan na fotografiji. Njegov pokretni dio /poklopac/ nam služi za ucrtavanje položaja zvijezda. To nam omogućava da pod aparatom za uvećavanje obavimo nekoliko



uzastopnih ekspozicija, a da nam svaka od zvijezda bude tačno na istom položaju.

Ova tehnika nam ustvari na jedan način smanjuje zrnatost fotografije. Poznato je da filmska emulzija ima zrnastu strukturu koja je izraženija što je negativ više uvećan ili što je film osjetljiviji. Ako uzmemo više negativa prilikom izrade fotografije, tada će, zbog haotičnog rasporeda zrna u emulziji, doći do njihovog djelimičnog "poništavanja", što će voditi povećanju kontrasta i kvaliteta fotografije.

Proces rada ćemo obraditi na jednom primjeru. Pretpostavimo da nam je cilj napraviti kvalitetnu sliku Velike magline u Orionu /M 42/. Za tu svrhu snimimo najprije potreban broj negativa pomoću kamere ili teleskopa kojim raspolažemo. Broj negativa zavisi od onoga šta želimo dobiti. Sa povećanjem formata slike raste i broj upotrebljenih negativa. Pokazuje se da je recimo broj od 3 komada dovoljan, a svakako je korisno probati sa više. Neki rade sa 6 do 8 negativa.

Prvi negativ postavimo u ležište aparata za uvećavanje i izvršimo test-ekspoziciju koja će nam pokazati koliko je vremena potrebno da bismo dobili normalnu fotografiju. Zatim broj dobijenih sekundi podijelimo sa brojem negativa. Prvoj ekspoziciji dodamo 40% na utvrđeno vrijeme osvjetljavanja, svakoj od ostalih po 20%. Npr. neka smo test-ekspozicijom ustanovili da nam je vrijeme za normalnu fotografiju 60 sekundi. Ako imamo 3 negativa tada se prvi eksponira 28 sekundi, a ostali po 24 sekunde. Prema tome, eksponiramo prvi negativ, a zatim sve ostale vodeći

prije svega računa o tome da nam svaki od njih bude u identičnom položaju u odnosu na fotografski papir. Svaki put treba provjeriti fokus, jer bi zanemarivanje toga moglo dovesti do slabijih rezultata.

Ova tehnika je primjenjiva u ograničenom obimu i na snimke planeta. Teškoća je u tome što je teško izvršiti podešavanje tačnog položaja, posebno ako nema uočljivih detalja. No, svakako vrijedi pokušati.

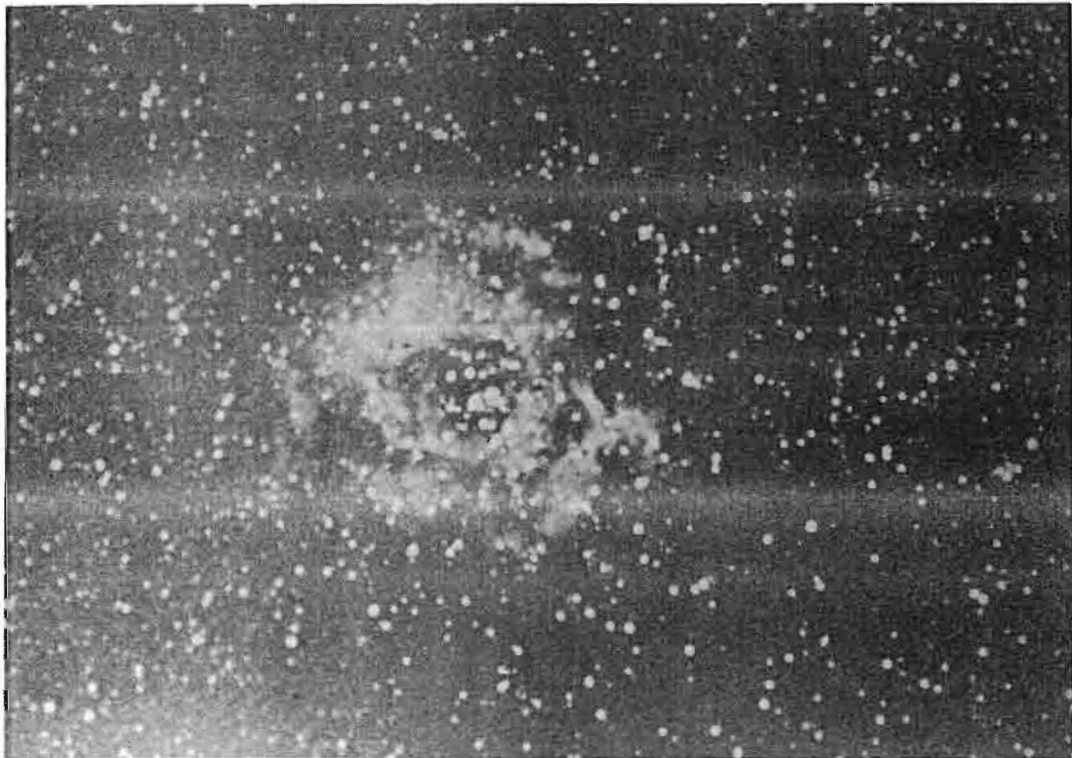
Fotografija koju smo dobili metodom integracije negativa može se sada još "popraviti", tj. može joj se povećati kontrast. Jednostavno je treba presnimati direktno na neki film visokog kontrasta, kakav je recimo Kodak Panatomik X ili domaći Mikrofilm. Presnimavanje se može izvršiti običnim fotografskim aparatom.

Pored opisane metode u skromnijim uslovima može se koristiti metoda povišenja kontrasta na osnovu samo jednog originala. Njega presnimimo uzastopno na dva ili više pozitiv kopija. Zatim te, recimo 3 pozitiv kopije, stavimo jednu na drugu pazeći da se svi likovi zvijezda preklope i uredimo ponovo negativ kopiju. Ona je sada znatno kontrastnija jer slabo osvijetljeni dijelovi negativa i dalje ostaju slabi, a oni koji su crni ovim postaju znatno crniji pa tako dolazimo do znatno kontrastnijeg negativa.

Na priloženim fotografijama magline "Rozete" vidi se jasno vrijednost ove metode.



Fotografija br. 3. Maglina Rozeta snimljena astrografom 83/375 mm uz ekspanziju od 30 m.



Fotografija br. 4. Isti snimak nakon laboratorijske obrade. Radi se o kompozitnom negativu (dva komada) kojim je povišen kontrast.

5. S n i m a n j e g a l a k s i j a

Snimanje galaksija je zanimljivo ali i teško polje rada za jednog amatera. Izuzimajući M 31, M 33 i još nekoliko galaksija, sve ostale su objekti slabog sjaja i malih dimenzija na nebu. Zato je potrebno dobro i pažljivo kontrolisati kretanje teleskopa. Fokuseranje je kritična stvar, a jasno je da kamera kojom snimamo mora biti što je moguće dužeg fokusa. Centralni dijelovi galaksija su obično znatno sjajniji od njihovih rubnih zona. Kako spiralni kraci zrače najviše u plavom dijelu spektra, a to se može odraziti ako se snimanja vrše u blizini velikih gradova. Svjetlost uličnih svjetiljki "zagađuje" nebo baš u toj oblasti. Zato je veoma važno da se mjesto snimanja izabere tako da ovakvi uticaji budu eliminisani.

Već sa običnom 50 mm kamerom možemo snimiti najsjajniju od svih galaksija sjevernog neba. To je već pomenuta Velika maglina u Andromedi ili M 31. Ekspozicija od desetak minuta omogućiće nam da na snimku te zone neba pronađemo još jednu relativno sjajnu galaksiju. To je Trouglova maglina M 33. Male astro-kamere sa fokusima od 300 do 500 milimetara omogućiće nam da snimimo čitava "polja" galaksija kao što je ono u sazvježđu Djevice. S obzirom na slab sjaj ovakvih objekata potrebno je koristiti filmove veće osjetljivosti. Najbolji rezultati se postižu na Kodak spektroskopskoj emulziji Kodak 103a-0, osjetljivoj na plavi dio spektra.

IZRADA OGLEDALA ZA TELESKOP

6. O g l e d a l o t e l e s k o p a

U narednih nekoliko poglavlja je opisana izrada ogledala za teleskop. Ono ima zadatak da zrake svjetla koje padnu na njegovu površinu skupi u jednu tačku (fokus). Na slici 1. je prikazana refleksija paralelnog snopa zraka na površinu udubljenog ogledala:

D - prečnik ogledala

Vidimo sa slike da se udaljenost od površine ogledala do fokusa naziva fokusna dužina (F). Od fokusne dužine (F) objektiva direktno zavisi veličina lika koji on tvori u svom fokusu, a od prečnika (D) zavisi količina svjetlosti koju će prikupiti. Uvećanje teleskopa ovisi direktno proporcionalno od fokusne dužine objektiva. Dobija se po formuli: $U = F/f$ gdje je:

U - uvećanje

F - fokusna dužina objektiva

f - fokusna dužina okulara

Što je veća fokusna dužina objektiva, veći je i lik u fokusu. Za Mjesec i Sunce može se koristiti približna formula:

V.L. = F/llo

V.L. - veličina lika

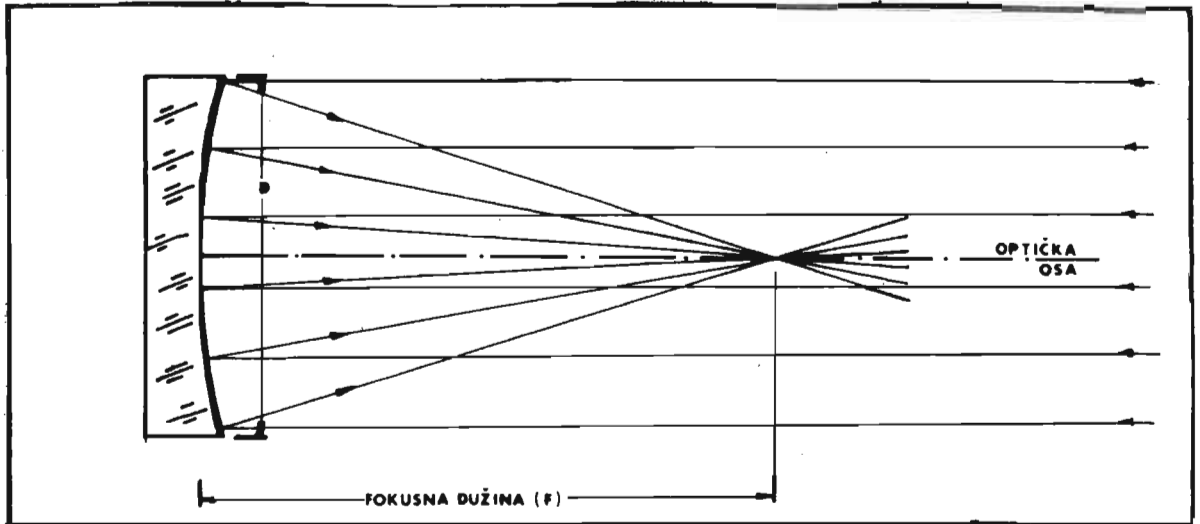
F - fokusna dužina

Po ovoj formuli se dobije da je fokusnu dužinu 110 cm prečnik Mjeseca u fokusu 10 mm. Ova slika se uvećava pomoću okulara. Jasno je da je slika svjetlija i da se može uočiti više detalja ako je prečnik objektiva veći. Osvjetljenost slike zavisi i od odnosa prečnika i fokusne dužine. Ovaj odnos se naziva svjetlosna moć (A) ili f/broj a računa se kao: $A = D/F$ pa tako imamo na primjer da je svjetlosna moć teleskopa 1:8 ili, što je isto, da je f/8. Teleskop sa svjetlosnom moći f/8 će imati u svom fokusu dva puta svjetliju sliku nego onaj sa f/16, tačnije, što je manji f/broj osvjetljenost je bolja i obrnuto.

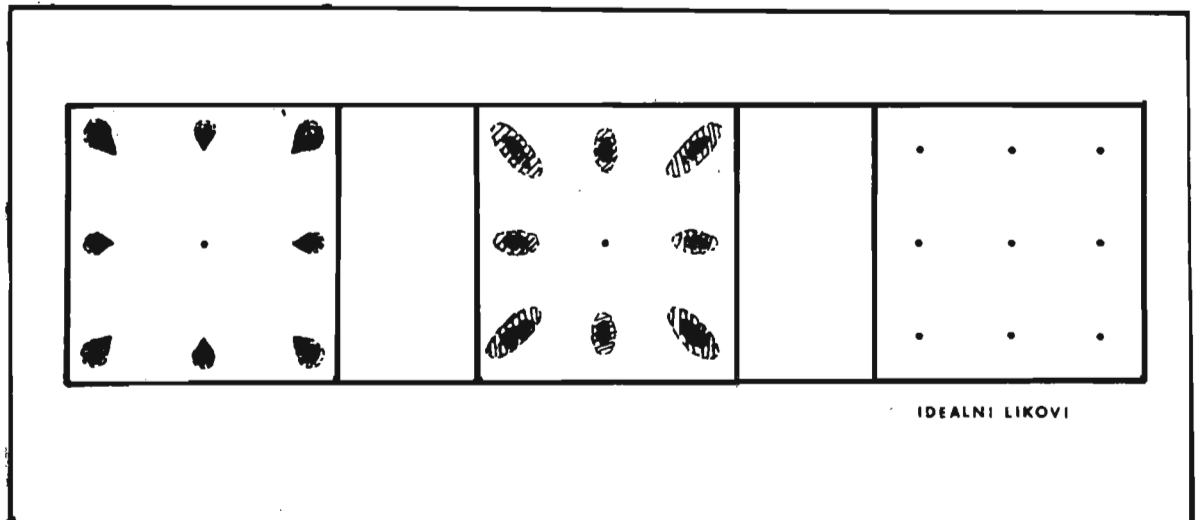
Međutim, sa smanjenjem f/broja opada i prečnik korisnog vidnog polja objektiva. Naime, svaki objektiv ima svoje greške (aberracije) koje ograničavaju njegovo vidno polje. Smanjenjem f/broja aberracije ogledala postaju izraženije, tako da samo polje, blisko optičkoj osi, ima dobru sliku. Postoji više aberracija koje ograničavaju vidno polje objektiva, a za nas su najznačajnije koma i astigmatizam. Prikaz ovih aberracija je dat na slikama 2. i 3.

U tabeli je data veličina korisnog vidnog polja paraboličnog ogledala u kojem koma ne kviri primjetno lik zvijezde.

Da bi smo imali predstavu o veličini tog polja treba znati da je ugaoni prečnik Mjeseca i Sunca oko 30'. Teleskopi čije je vidno polje veće od 1-2° se uslovno nazivaju široko ugaoni. Kod amaterskih teleskopa (prečnika 5-20 cm) korisno vidno polje ne bi trebalo biti manje od 15'.



Slika 1.



Slika 2.

Slika 3.

D \ A	70 mm	140	250
1:3.5	2' 11''	1' 05''	0' 36''
1:5	4 25	2 13	1 15
1:7	8 42	4 21	2 26
1:15	40 00	20 00	11 12
1:30	2 ^o 40'00''	1 ^o 20'00	44 40

Da bi se ogledalo moglo koristiti kao objektiv ono mora zadovoljiti neke kriterije. Veoma uticajan faktor na kvalitet slike je oblik ogledala. Amateri najviše koriste sferna i parabolična ogledala, tj. ogledala čiji je poprečni presjek sfera, odnosno parabola. Razlika između ova dva ogledala je vidljiva na slici 4.

Slabost sfernog ogledala u odnosu na parabolično je to što ima sfernu aberaciju (slika 5).

Rubni dijelovi ogledala reflektuju zrake pod većim uglom nego centralni, usljed čega se dobija više fokusa ($F_1, F_2, F_3 \dots$). Zbog toga slika postaje razmrljana što je vidljivo na slici 6. Ova aberacija je izraženija što je veći prečnik ogledala tj. manji f /broj.

Napomena: za $f/10, f/11, f/\dots$ može se bez bojazni koristiti sferno ogledalo jer se ono tada vrlo malo razlikuje od paraboličnog. Za veće svjetlosne moći ($f/9, f/8$ itd.) neophodno je koristiti parabolično ogledalo. Parabolično ogledalo ima osobinu da sve paralelne zrake koje padnu na njegovu površinu reflektuje u jednu tačku.

Nedostatak paraboličnog ogledala je to što ima vrlo ograničeno vidno polje zbog kome i astigmatizma, o čemu je već bilo riječi.

Pored ovoga i materijal za ogledalo mora zadovoljavati neke kriterije. Prije su se objektivni izradivali od bronzе dok se kasnije kao materijal počeo koristiti staklo, koje se zbog svojih osobina zadržalo do danas.

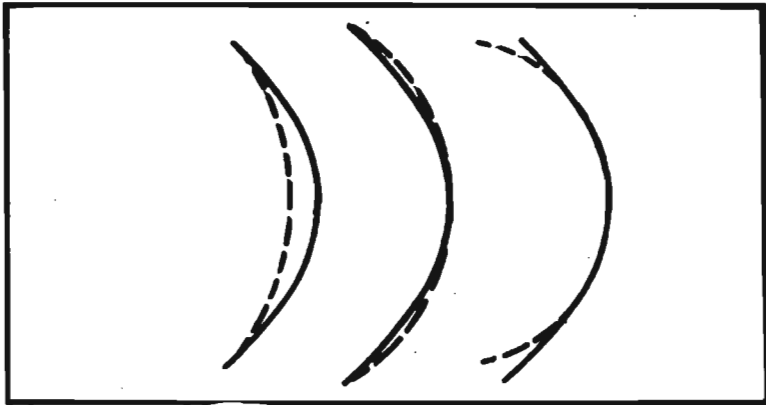
Za izradu astronomskih objektivna se koriste specijalne vrste stakla koje su otporne na promjene temperature. Naime, promjenom temperature mijenja se i zapremina stakla usljed čega se deformiše oblik ogledala. Ovo mnogo utiče na kvalitet astronomskih likova u fokusnoj ravni. Danas se koriste tehnička stakla pod nazivom: cer-vit, zerodur, sital, pyreks i sl. koja imaju veoma mali koeficijent termičkog širenja. Naravno, staklo za ogledalo ne smije sadržavati mjehuriće vazduha. Taj kriterij i nije toliko značajan u ovom slučaju koliko je značajan, recimo, kod izrade sočiva.

Pored svega staklo mora biti dovoljno debelo da bi se moglo postići pravilno uravnotežavanje ogledala u njegovoj ćeliji. Debljina treba da se kreće u granicama od $1/6$ do $1/12$ prečnika. Stakleni disk za ogledalo ne bi trebao ni u kom slučaju biti tanji od $1/12$ svog prečnika.

7. P r o r a č u n a v a n j e

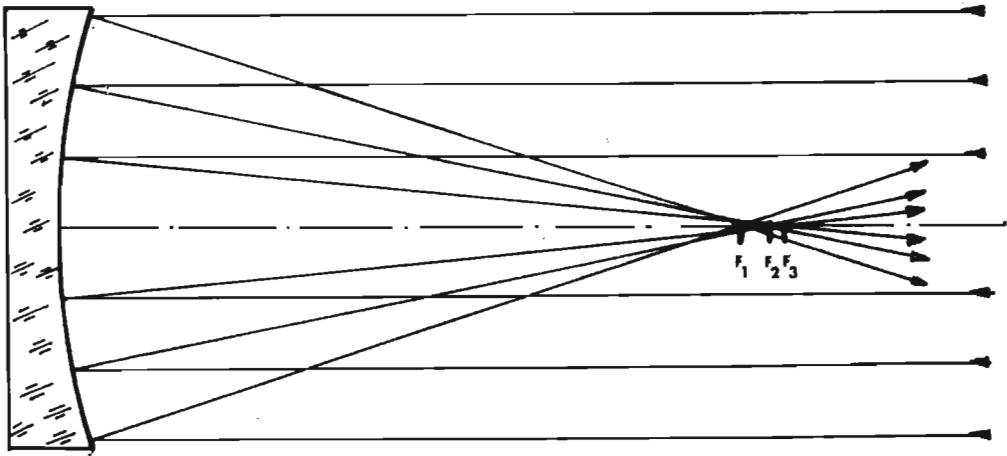
u d u b l j e n j a i n j e g o v o
m j e r e n j e

Brušenje ima za cilj da staklenom disku za ogledalo da određeno, proračunato udubljenje, tačnije da mu da određeni radijus zakrivljenosti (R). Dobivanjem određenog radijusa zakrivljenosti (R) definiše se i fokusna dužina ogledala. Za fokusnu dužinu se opredijelimo vodeći, naravno, računa o prečniku i svjetlosnoj moći. Na slici 7 je dat prikaz faktora od kojih zavisi udubljenje ogledala.

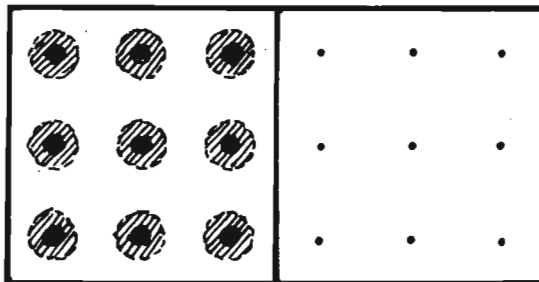


Poređenje parabole s tri sfere

Slika 4.



Slika 5.



Slika 6.

-gdje je:

R - radijus zakrivljenosti, a računa se kao

$$R = 2F$$

r - poluprečnik ogledala,

u - udubljenje,

Sa slike vidimo da se (u) može jednostavno izračunati primjenom Pitagorine teoreme.

(r) nam je poznat kao i (R).

$$(R-u) = \sqrt{R^2 - r^2}$$

a zatim se (u) izrazi kao:

$$u = R - (R-u).$$

Tokom brušenja je potrebno mjeriti udubljenje (da bismo znali kako napreduje posao). To se može vrlo lako činiti pomoću linijara koji se postavi preko sredine ogledala. Iza linijara se na površinu ogledala spusti krug prečnika 25 mm (najjednostavnije je uzeti novčić od 50 para). Zbog udubljenosti ogledala se vidi odsječak tog kruga, koji se pomoću linijara može izmjeriti. Mjerenje tetive tog kruga je prikazano na slici 8.

Na slici 9 se vidi kako se može izračunati udubljenje u disku (na osnovu izmjerene tetive):

$$b = \sqrt{12,5^2 - t/2^2}$$

$$b = 12,5 \text{ mm} - u$$

$$u = 12,5 \text{ mm} - b$$

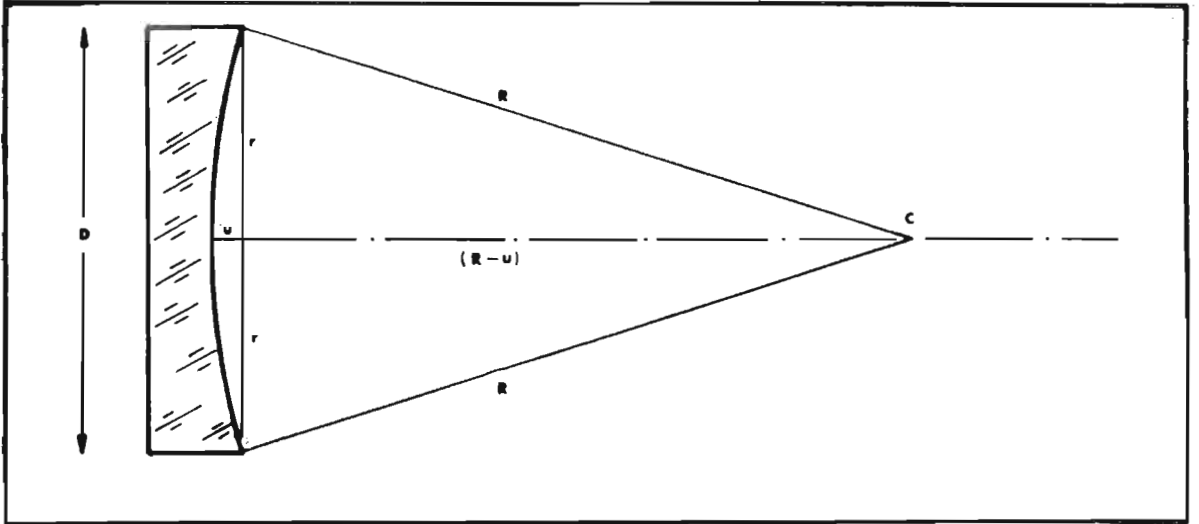
8. Brušenje ogledala

Za brušenje su potrebna dva staklena diska od kojih je jedan za ogledalo, a drugi služi kao matrica. O debljini diska za ogledalo je već bilo riječi, dok disk za matricu može biti i nešto tanji od njega (do $1/15$ prečnika). Rubovi oba diska moraju biti obrušeni pod uglom od 45° (slika 10) da ne bi dolazilo do odlamanja pri radu.

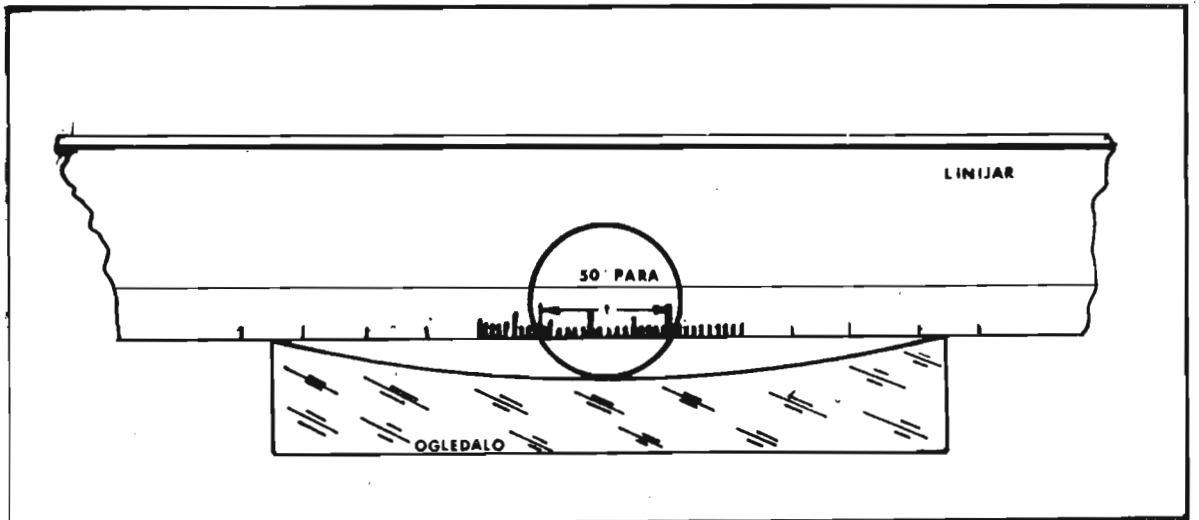
Za početak je potrebno disk za matricu nalijepiti na keramičku ili željeznu ploču nešto većih dimenzija od njegovog prečnika. To se može učiniti pomoću rastopljenog katrana. Pri tome treba paziti da rubovi matrice budu dobro zaliveni. Ovo je korisno jer tada ne može ući voda pod staklo pa se samim tim staklo ne može lako odlijepiti sa podloge.

Pripremljena matrica je vidljiva na slici 11.

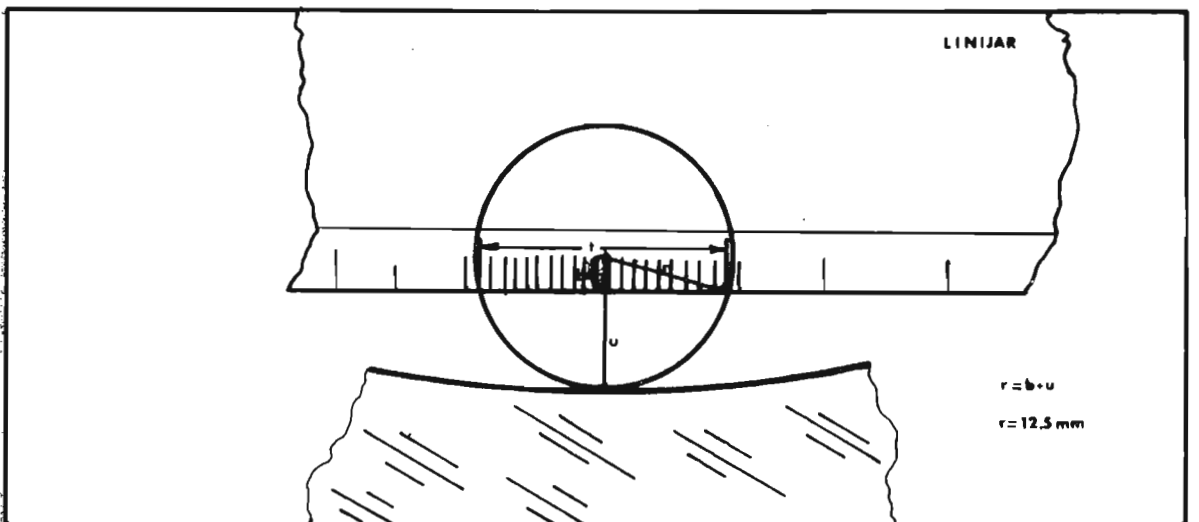
Samo brušenje se vrši pomoću kristala karborunduma (praha sa brusnog papira). Obično se uzima 3-7 frakcija (krupnoća) karborunduma. Najkrupnija frakcija ima zrnca veličine 2-4/10 mm, dok je najfiniji prah vrlo sitan (sitniji od brašna). Ostale frakcije su između te dvije i one samo olakšavaju rad (teorijski, ogledalo bi se moglo izbrusiti samo sa najfinijom frakcijom). Po količini je najviše potrebno najkrupnijeg brusnog praha. Za brušenje 15 cm-skog ogledala je potrebno nešto više od $1/4$ kg ovog praha. Pri radu s najkrupnijom frakcijom matrica se mora nalaziti na istoj visini na kojoj se sjedi.



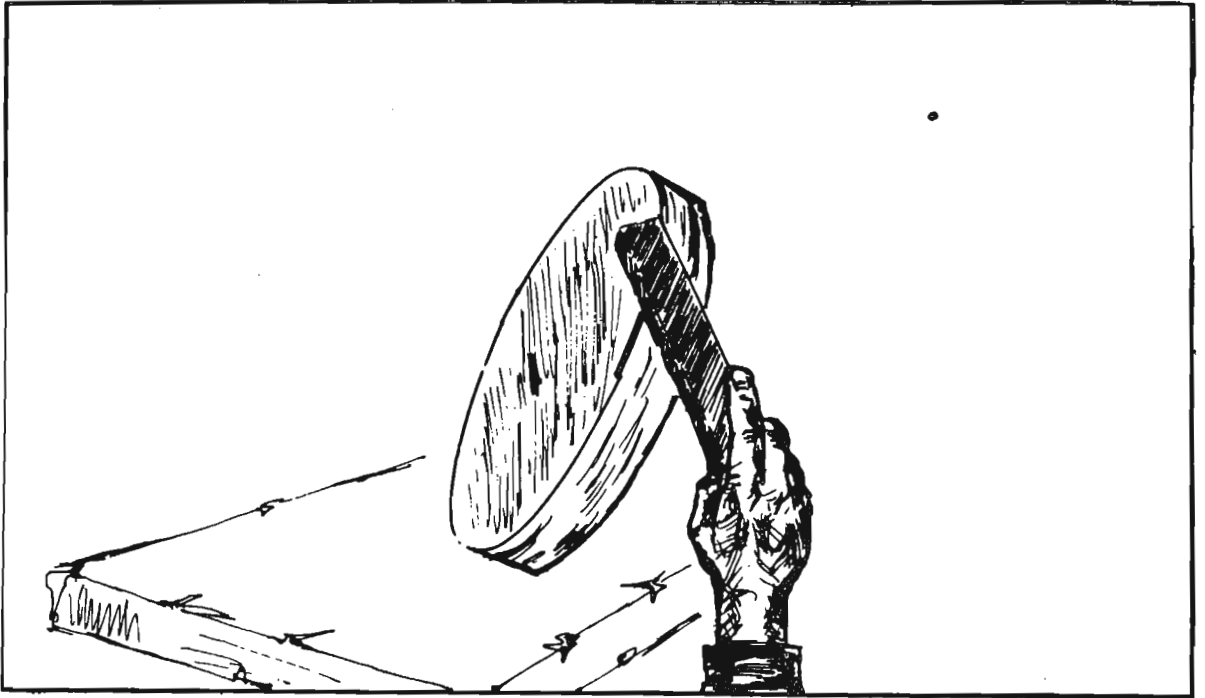
Slika 7.



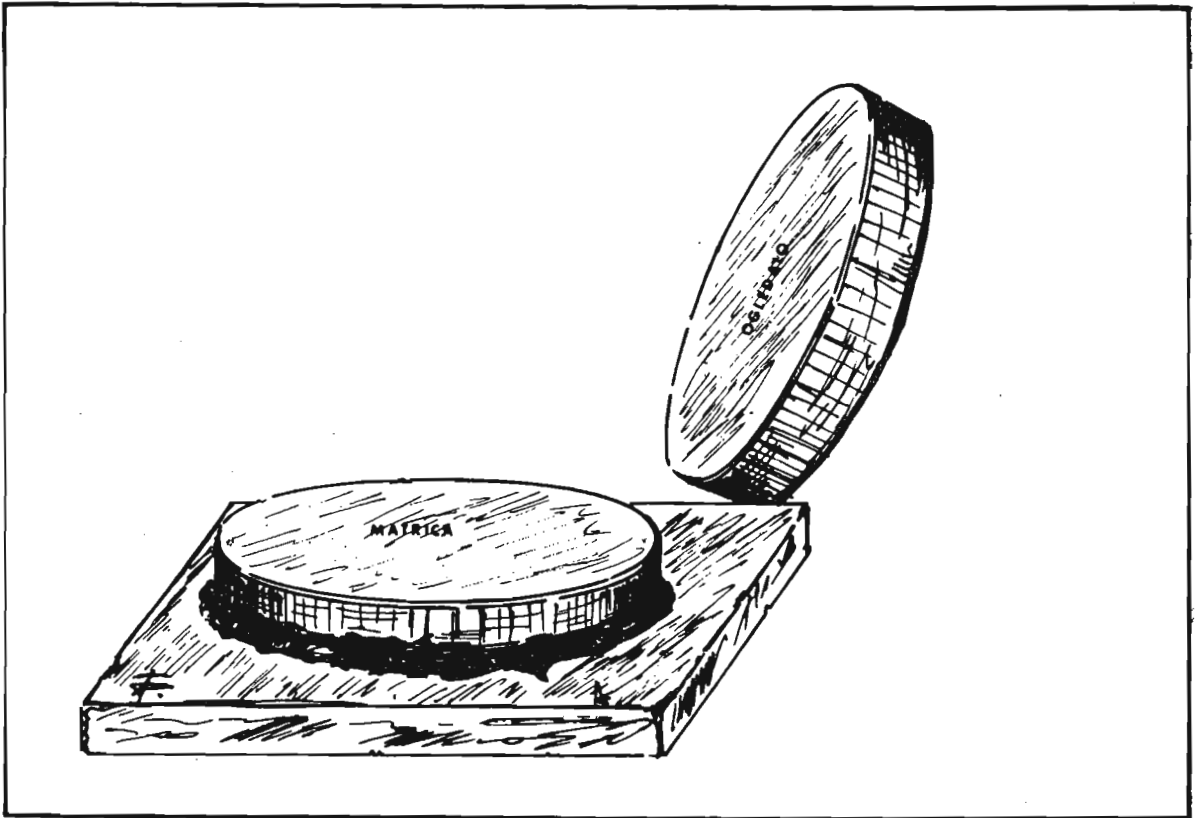
Slika 8.



Slika 9.



Slika 10.



Slika 11.

To može biti druga stolica koja je posebno otežana da se ne bi micala pri radu.

U jednoj manjoj posudi se napravi smjesa najkrupnijeg praha i vode. Zatim se na površini matrice ravnomjerno nanese jedna kašičica tog praha pa se drugim staklenim diskom (ogledalom) prave potezi kao na slici 12.

Pri tome treba paziti da usljed pritiska na prvu ne dolazi do dizanja druge strane ogledala (slika 13).

Na slici je vidljivo da rub ogledala treba da prelazi oko $1/3$ D preko ruba matrice i da pri tom treba ostvariti jednostrani pritisak. Poslije 3-5 poteza se matrica zakrene desetak stepeni ulijevo, a ogledalo dvostruko toliko udesno. Zatim ponovo slijedi 3-5 poteza sa slike 12, pa opet slijedi zakretanje. Pri brušenju se čuje struganje karborunduma po staklu. Kada to struganje oslabi (a to biva već poslije nekoliko minuta) znači da se karborundum smrvio ili pao preko ruba matrice pa treba nanijeti novu kašičicu smjese (ravnomjerno). Brušenje najgrubljim prahom prilično dugo traje. Naime, potrebno je na gore opisani način dobiti 90% od proračunatog udubljenja. Posao je rutinski jer se sastoji u ponavljanju poteza sa slike 12, zakretanju matrice i ogledala i povremenom nanošenju smjese karborunduma na matricu. Ovo brušenje traje za 15-cm-sko ogledalo žižne daljine oko 1 m oko 5-8 sati efektivnog rada.

Po završetku najgrubljeg brušenja površine ogledala i matrice se znatno razlikuju pa ih treba izjednačiti tj. napraviti od njih dijelove sfere. Razlika između površine je vidljiva na slici 14. Izjednačavanje se vrši istim brusnim prahom s tim da se sada matrica mora nalaziti u

visini ramena (npr. na stolu). Potezi pri brušenju su izmjenjeni (kao na slici 15). Nije potrebno vršiti nikakav pritisak već je dovoljno samo osloniti težinu ruku na ogledalo. Izjednačavanje traje oko 1 sat. Poslije toga treba vršiti optičke kontrole opisane u jednom od narednih poglavlja.

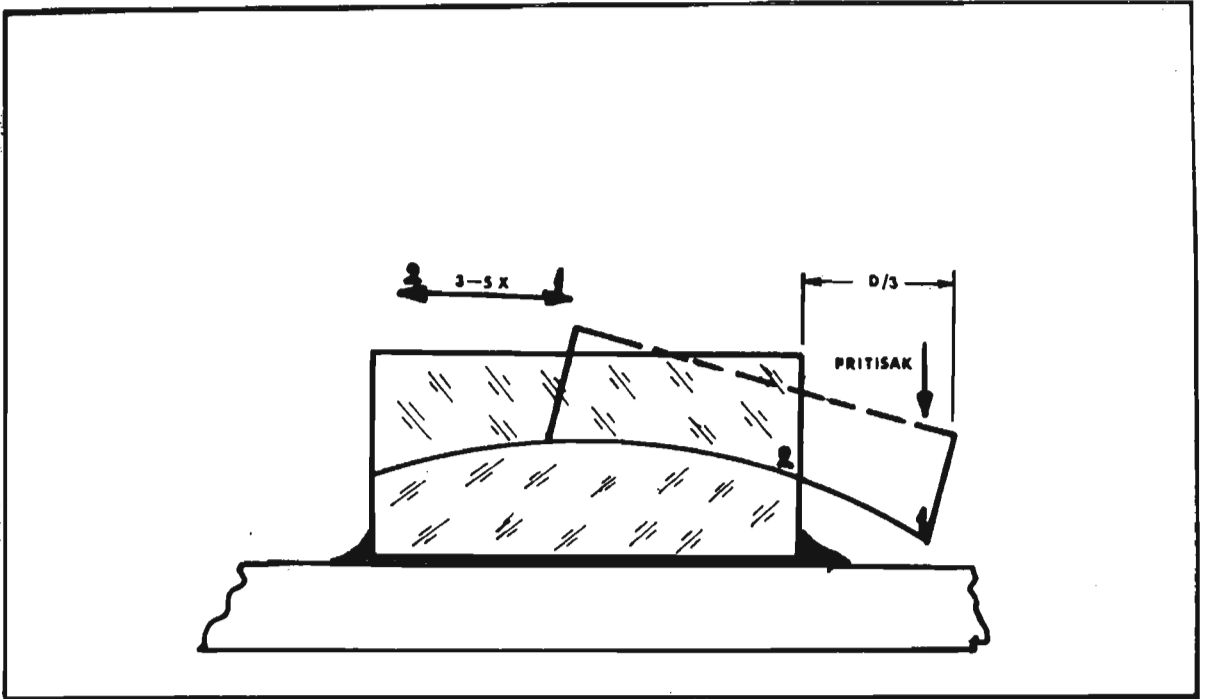
Postupak ispravljanja grešaka na ogledalu je isti kao i kod poliranja (pogledati poglavlje o poliranju). Jedina razlika je to što se ovdje ogledalo mora kvasiti vodom da bi reflektovalo svjetlo.

Kada se na ovaj način ogledalo dovede do sfernog oblika, matrica i ogledalo i sve što je dolazilo u dodir s najgrubljim brusnim prahom se opere pod tekućom vodom.

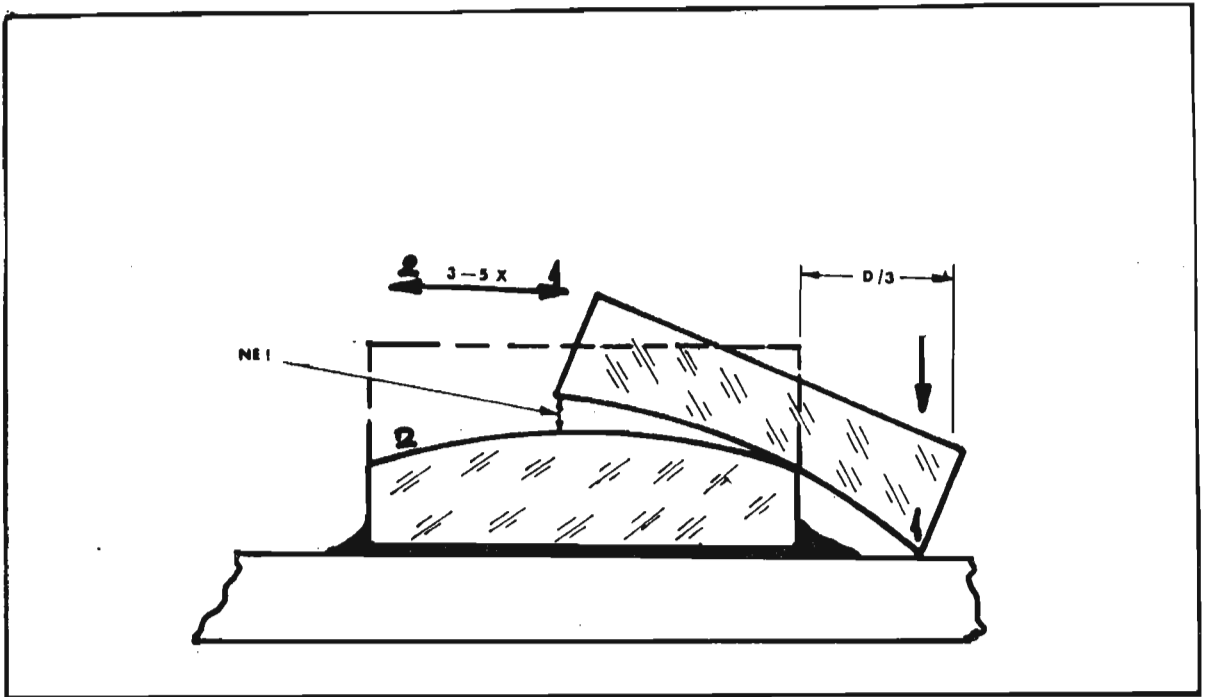
Poslije toga se prelazi na finiju frakciju brusnog praha. Način rada s ovom, a i ostalim još finijim frakcijama, je potpuno isti kao i kod izjednačavanja, tj. radi se potezima sa slike 15. Sa svakom frakcijom se radi oko 1 sat. I ovdje je potrebno vršiti optičke kontrole i potrebne korekcije i to svakih petnaestak minuta.

Rad sa finijim frakcijama ima za cilj da se što bolje izgladna površina ogledala i da se na taj način olakša poliranje. Između svake frakcije je potrebno vršiti temeljito ispiranje i matrice i ogledala, jer bi u protivnom dolazilo do nastajanja ogrebotina.

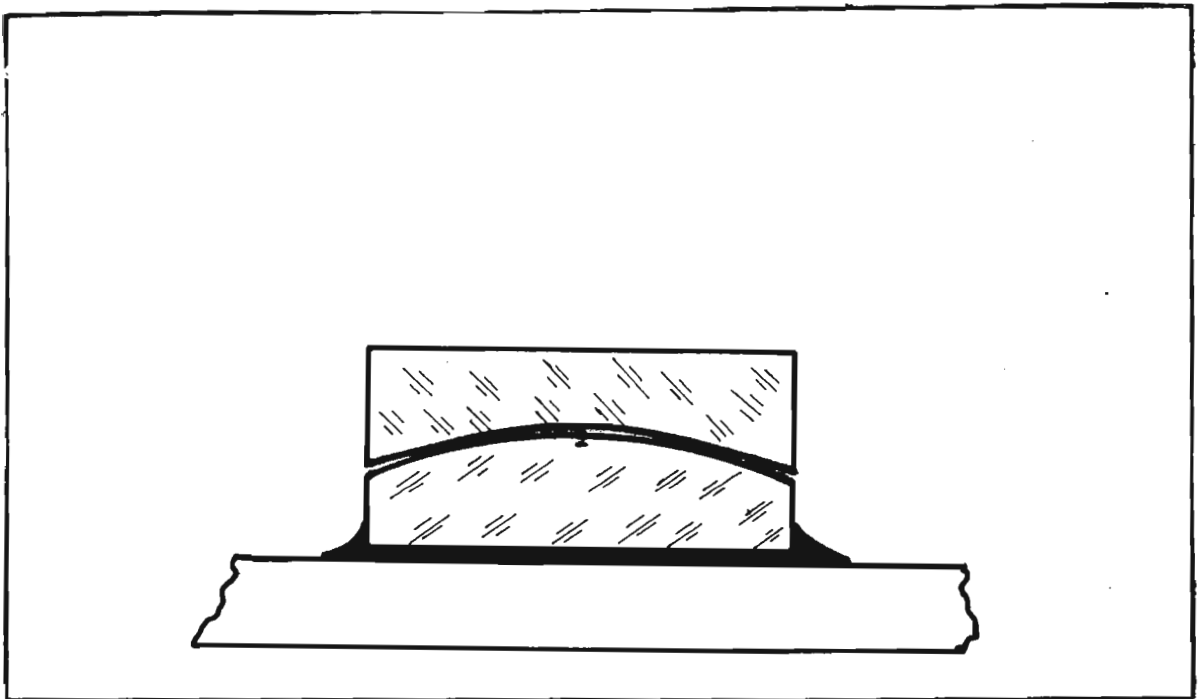
Prije početka rada s najfinijim brusnim prahom potrebno ga je preprati da se na taj način dobiju još finije frakcije, a i da se ujedno eliminišu sva krupnija zrnca. To se radi tako da se u jednu šoljicu vrlo gusto pomiješa prah sa vodom, a zatim se sve to saspe u posudu u kojoj se nalazi oko 1 litar vode.



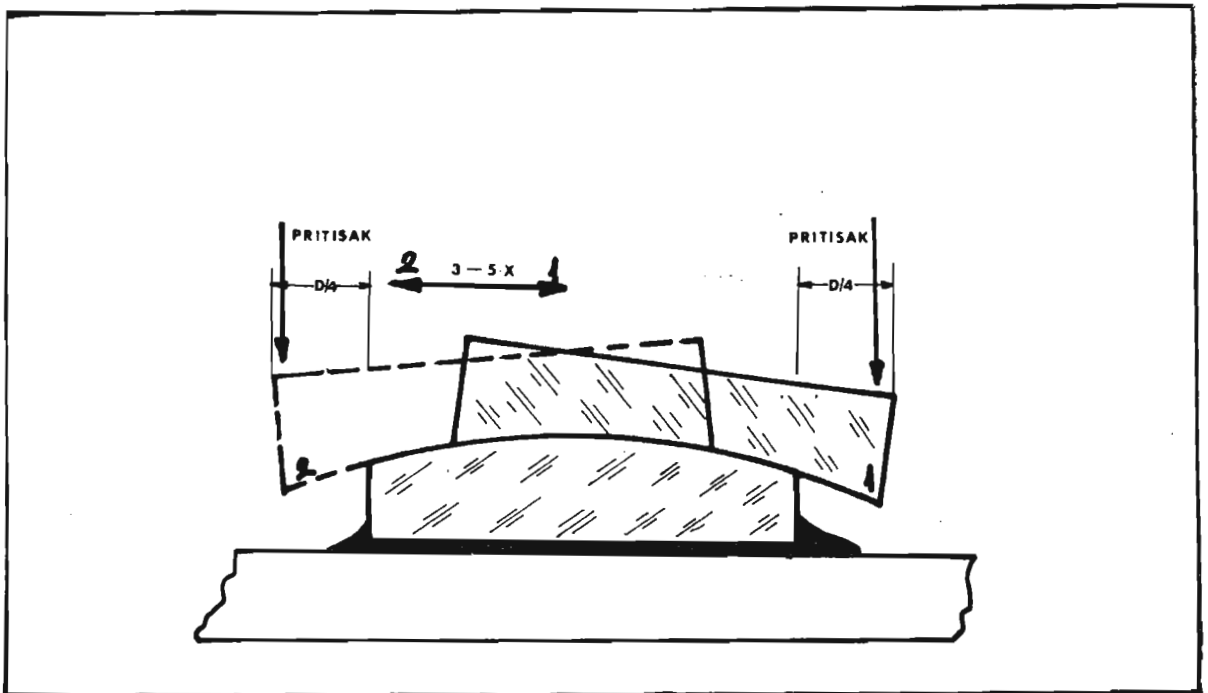
Slike 12.



Slike 13.



Slike 14.



Slike 15.

Zatim se ta mješavina zamuti, sačeka se 10-tak sekundi, pa se odlije voda u drugu čistu posudu. U prvoj posudi ostane talog koji se baci jer je grub. U drugoj posudi taloženje traje oko 30 sekundi pa se opet vrši odlijevanje vode (u treću posudu). Na kraju se napravi i četvrta frakcija. Na ovaj način se dobiju krupnoće od 30 sec., 1 min. i 5 min. Sa svakom frakcijom se radi oko 30 min. Dodavanje praha se vrši svakih desetak minuta, dok se češće dodaje samo voda. Prah se nanosi kistom. Najbolje je da se za svaku frakciju koristi drugi kist. Poslije rada s zadnjom 5 minutnom frakcijom potrebno je još desetak minuta brusiti dodajući samo vodu. Optičke kontrole se, pri radu s najfinijim prahom, vrše svakih desetak minuta. Po završetku ovog rada suho ogledalo već pomalo reflektuje svjetlo.

9. Pripremanje matrice za ogledalo

Da bi se dobila potpuna uglačanost stakla potrebno je napraviti posebnu matricu od smole. Izradi ove matrice treba pristupiti sa velikim strpljenjem jer s dobrom matricom se ogledalo može relativno lako ispolirati. Smola za matricu treba da ima određenu tvrdoću. Sastojci smole su katran, kalofonij i pčelinji vosak.

U jednu metalnu posudu se rastope otprilike iste količine katrana i kalofonija, a zatim se tome doda oko 5% voska. Tvrdoća se provjerava tako da se u vodi ohladi kap te smole, a zatim se pokuša pregristi. Ukoliko smola prska pod zubima treba je omekšati tj. dodati joj katrana.

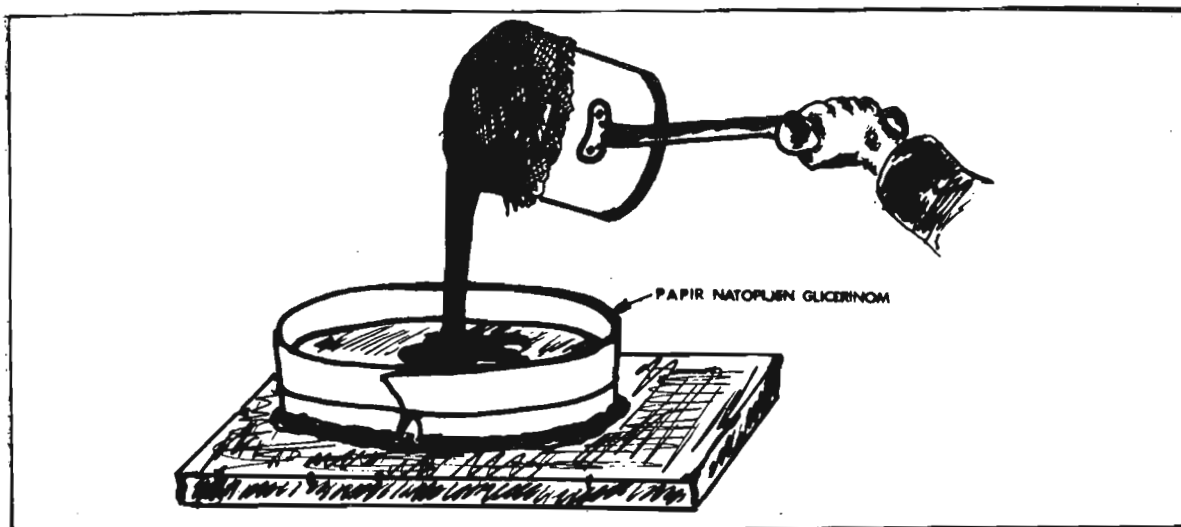
U obrnutom slučaju treba dodati kalofonija. Uvijek treba dodavati i odgovarajuće količine pčelinjeg voska. Na sobnoj temperaturi jako utisnuti nokat u smolu treba da ostavi trag dubok oko pola mm. Oko staklene matrice se omota traka papira premazanog glicerinom, a preko posude u kojoj se nalazi rastopljena smola se učvrsti gaza. Prije lijevanja smole potrebno je da staklena matrica bude čista i suha. Pri omotavanju trake natopljene glicerinom treba paziti da na površini stakla ne bude glicerina. Zatim se preko stakla izlije smola (slika 16). Sloj smole na staklu treba da bude debeo oko 10 mm. Smolu treba ostaviti da se skoro u potpunosti ohladi, pa se oprezno skinu traka papira.

Preko još tople matrice se postavi gaza natopljena glicerinom, a preko gaza ogledalo. Jako, ali ravnomjerno, pritisnuvši ogledalo smola će dobiti istu zakrivljenost kao i ogledalo. Matricu treba držati 1-2 minute pod stalnim pritiskom. Pri tom treba paziti da pritisak ne bude suviše jak, jer bi došlo do potpunog deformisanja matrice. Pod djelovanjem pritiska treba na rubovima istisnuti oko 1/2 cm smole (kao na slici 18). Pritiskivanje matrice je vidljivo na slici 17.

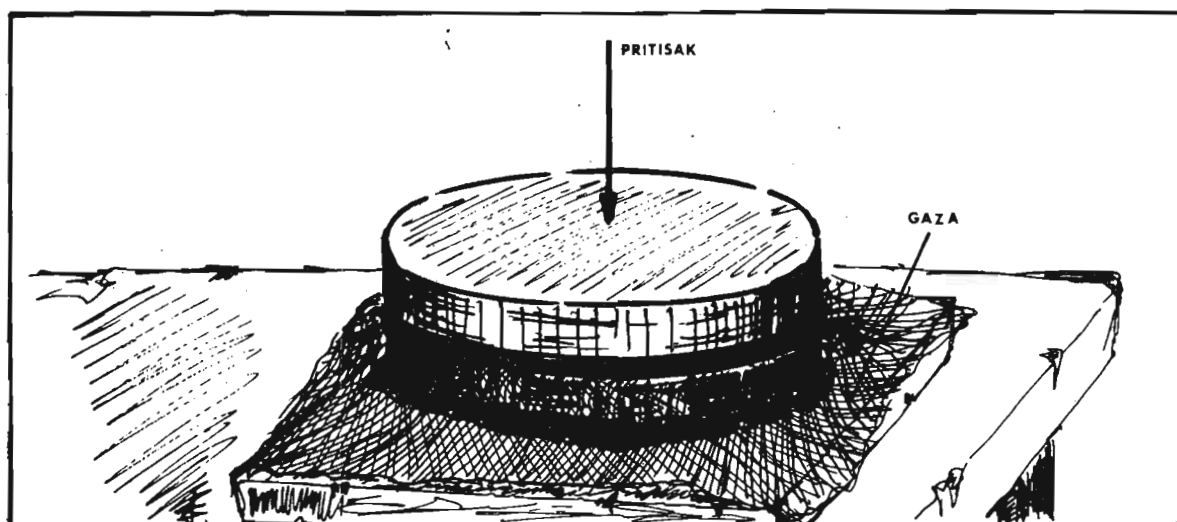
Kad se dobije zakrivljenost smole treba izrezati kanale u njoj (slika 19). Ovo je najlakše uraditi lemilom prilagođenim kao na slici 20.

Raspored i dimenzije kanala prikazani su na slici 21.

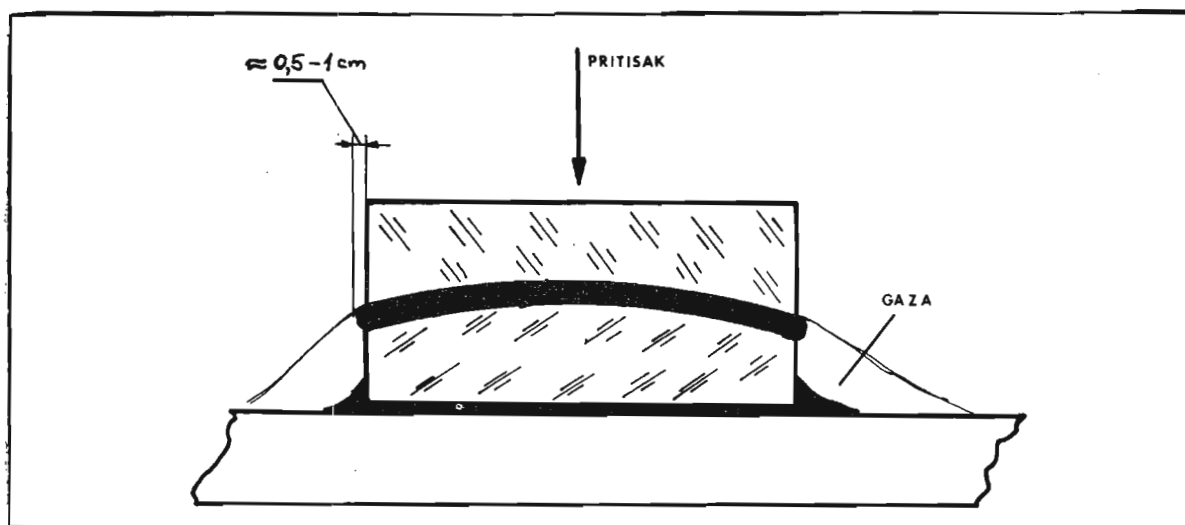
Treba paziti da centar matrice bude smješten u ugao kvadratića. Poslije rezanja kanala matricu treba zagrijati u toploj vodi i ponovo pritisnuti ogledalom (preko gaza natopljene glicerinom). Najbolje je na ogledalo staviti teg težine oko 0,3 - 0,5 kg. po centimetru prečnika,



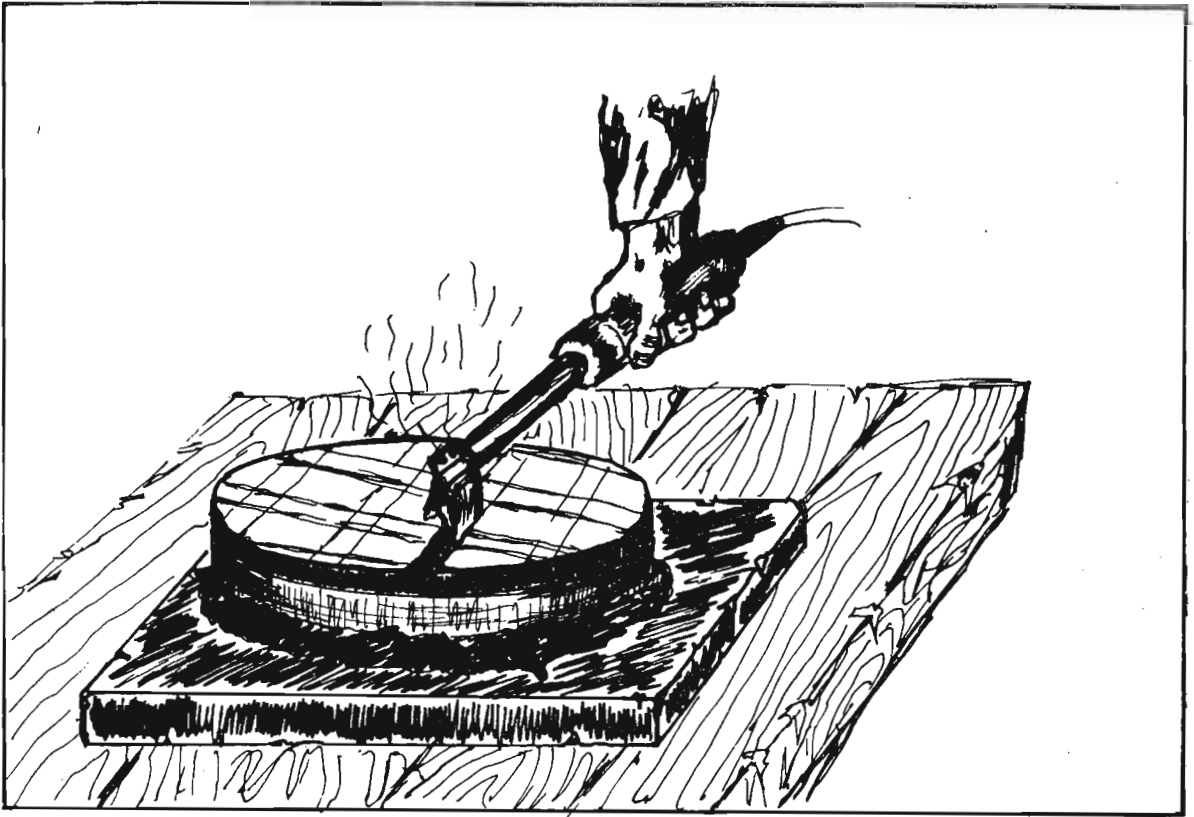
Slika 16.



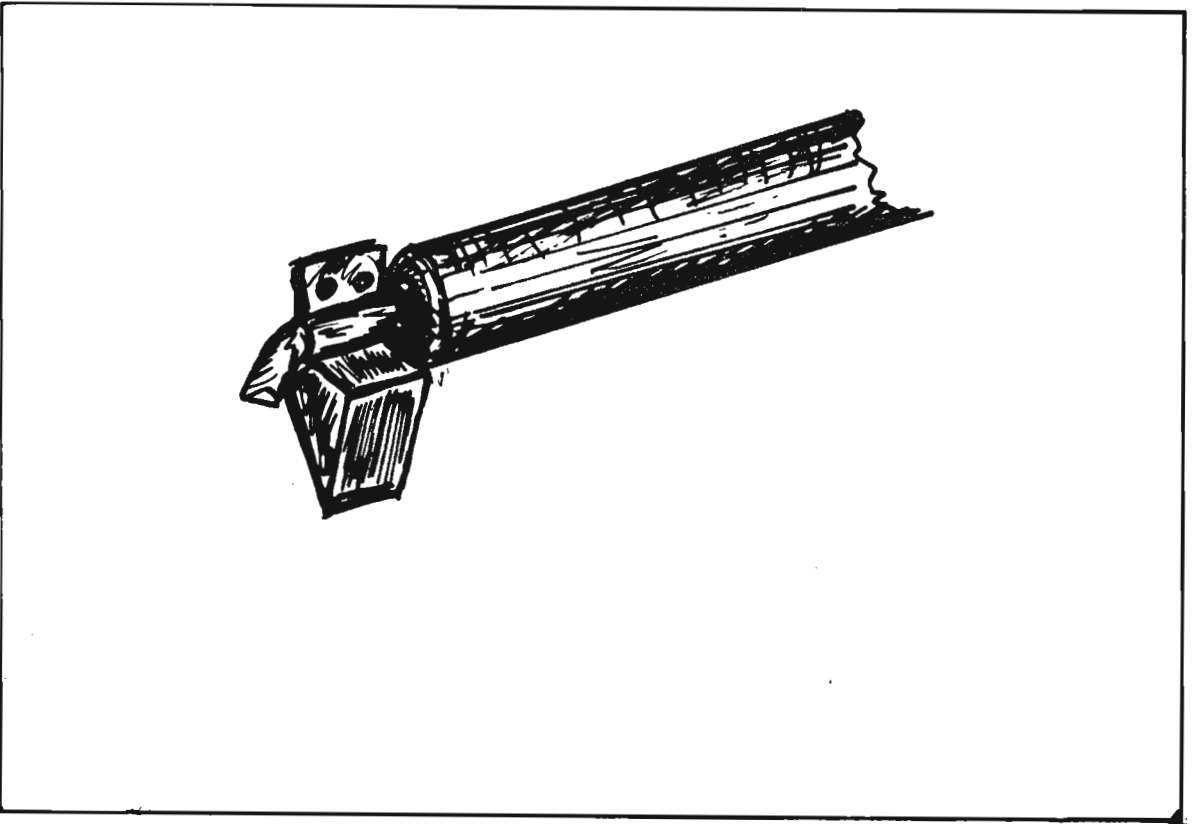
Slika 17.



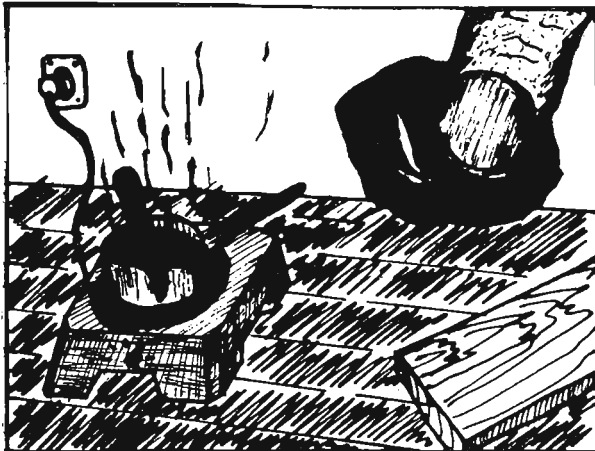
Slika 18.



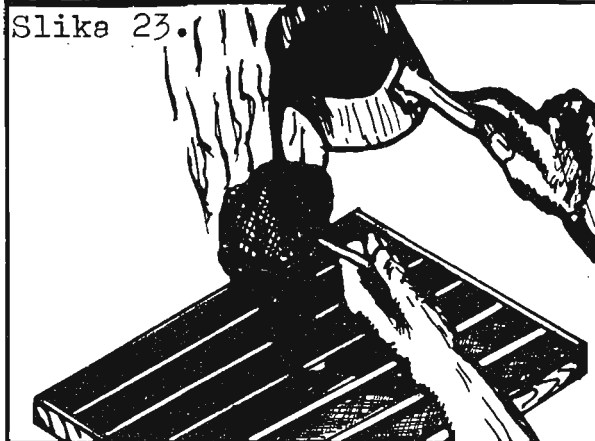
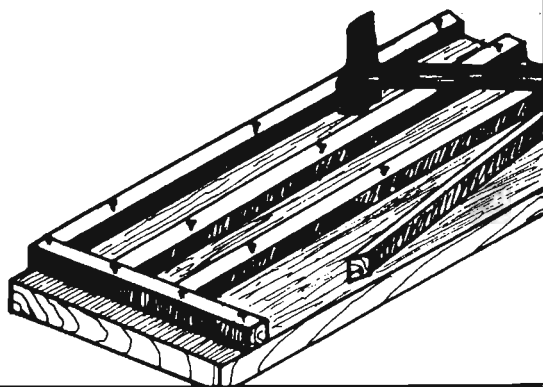
Slika 19.



Slika 20.

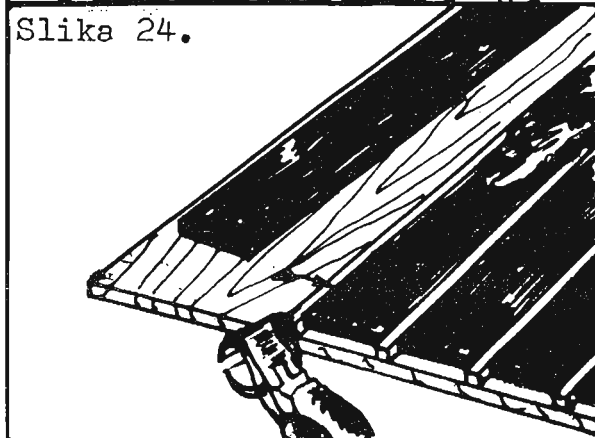
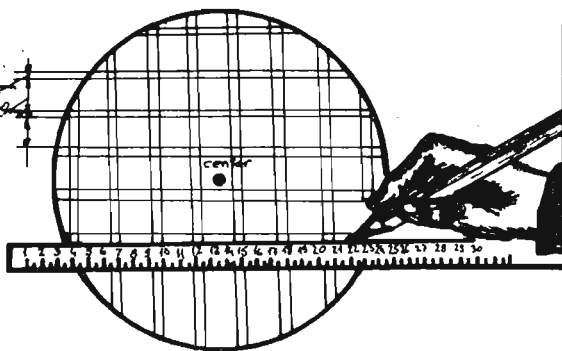


Slika 22.

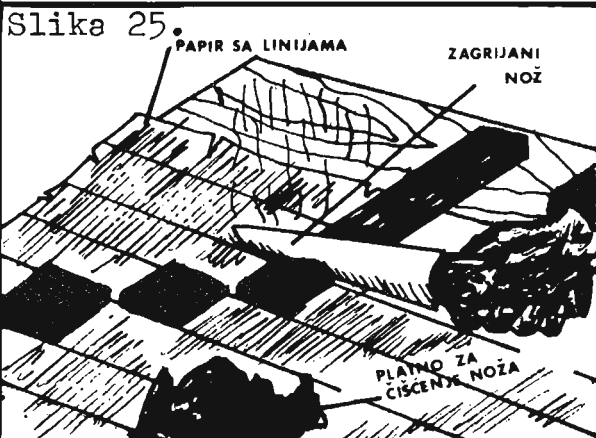


Slike 23.

Slika 21.



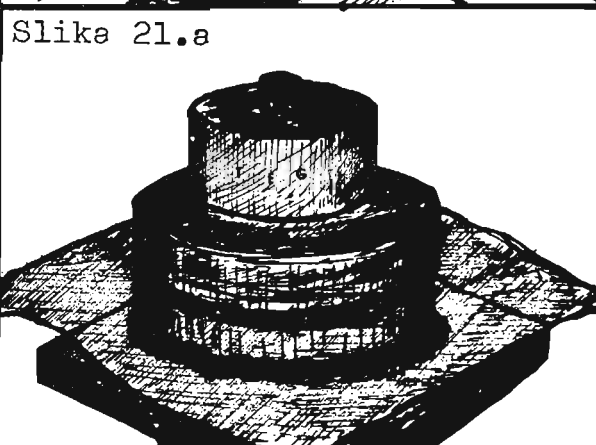
Slika 24.



Slika 25.



Slika 26.



Slika 21.a

a zatim ostaviti da se smola ohladi (slika 21a). Pored ovog, postoji još jedan način da se napravi matrica za poliranje. Postupak topljenja i odabiranja tvrdoće je potpuno isti. Sada se smola lije u kalupe kao na slici 22. Prije lijevanja je potrebno kalupe premazati tankim slojem glicerina. Kada se smola u potpunosti ohladi letvice se povade pomoću kliješta, a ploče smole se skinu sa podloge (slike 23 i 24). Zatim se veoma jednostavno zagrijanim nožem isijeku te ploče na komadiće (slika 25) koji se zalijepe na površinu staklene matrice (slika 26).

Po završetku lijepljenja matrica se zagrije pa se vrši hlađenje pod težinom kao na slici 21a.

10. O p t i č k e k o n t r o l e

Ovo je najvažniji dio u izradi objektivna jer pruža realnu predstavu o kvalitetu ogledala. Za optičke kontrole je potrebno napraviti jedan mali instrument (slika 27). Vidljivo je da se on sastoji od izvora svjetlosti i "noža" koji služi za presijecanje snopa zraka koji dolazi od ogledala. Izvor svjetla se napravi tako da se u jednu limenu kutiju stavi matirana sijalica (oko 60W). Na toj kutiji se probuši rupa prečnika 2-3 mm preko koje se zalijepi komadić staniola sa vrlo malom rupicom (nekoliko stotih dijelova mm). Ova rupica se napravi tako da se preko gumene podloge postavi komadić staniola koji se probuši vrhom igle. Ova rupica će se ponašati kao izvor svjetla (zbog malih dimenzija). Kao "nož" se može iskoristiti žilet ili bilo koji drugi predmet s ravnim i

oštrim rubom. Pomoću jednog zavrtnja je moguće vršiti longitudinalno pomjeranje, a pomoću drugog pomjerati taj žilet u okomitom smjeru. Izvor svjetlosti, a samim tim i cijeli uređaj, se postavlja u centar zakrivljenosti ogledala. To znači da je udaljenost od površine ogledala do izvora svjetlosti:

$$R = 2F$$

Slika koju tvori ogledalo treba da je u istoj ravni s izvorom svjetlosti. Na ovaj način se precizno može izmjeriti radijus zakrivljenosti ogledala. Žižnu daljinu dobijemo kao:

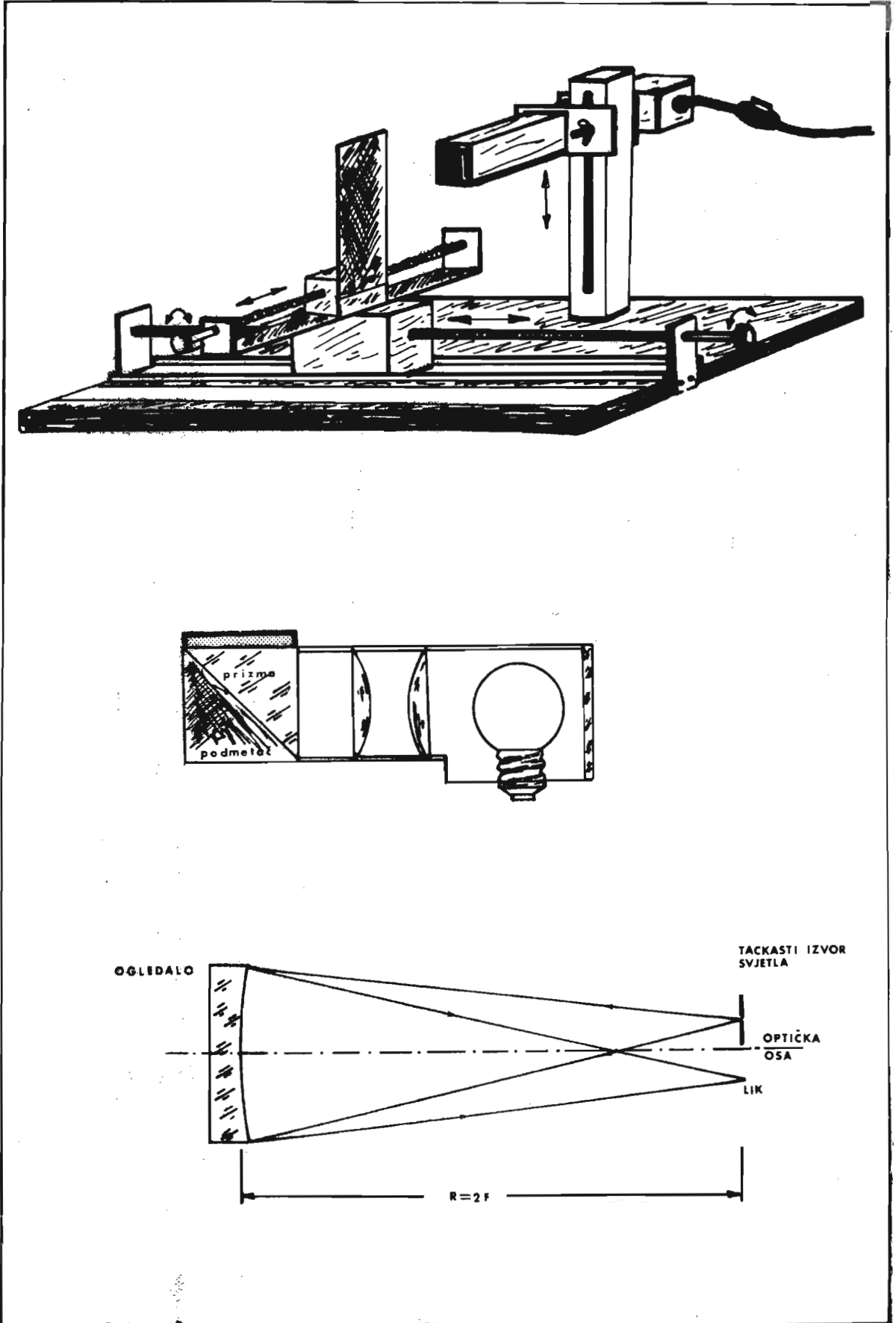
$$F = R/2$$

Niže opisana metoda je jedna od osnovnih metoda za kontrolu konkavnih ogledala koju koriste amateri. Ukratko, ona se sastoji u sljedećem:

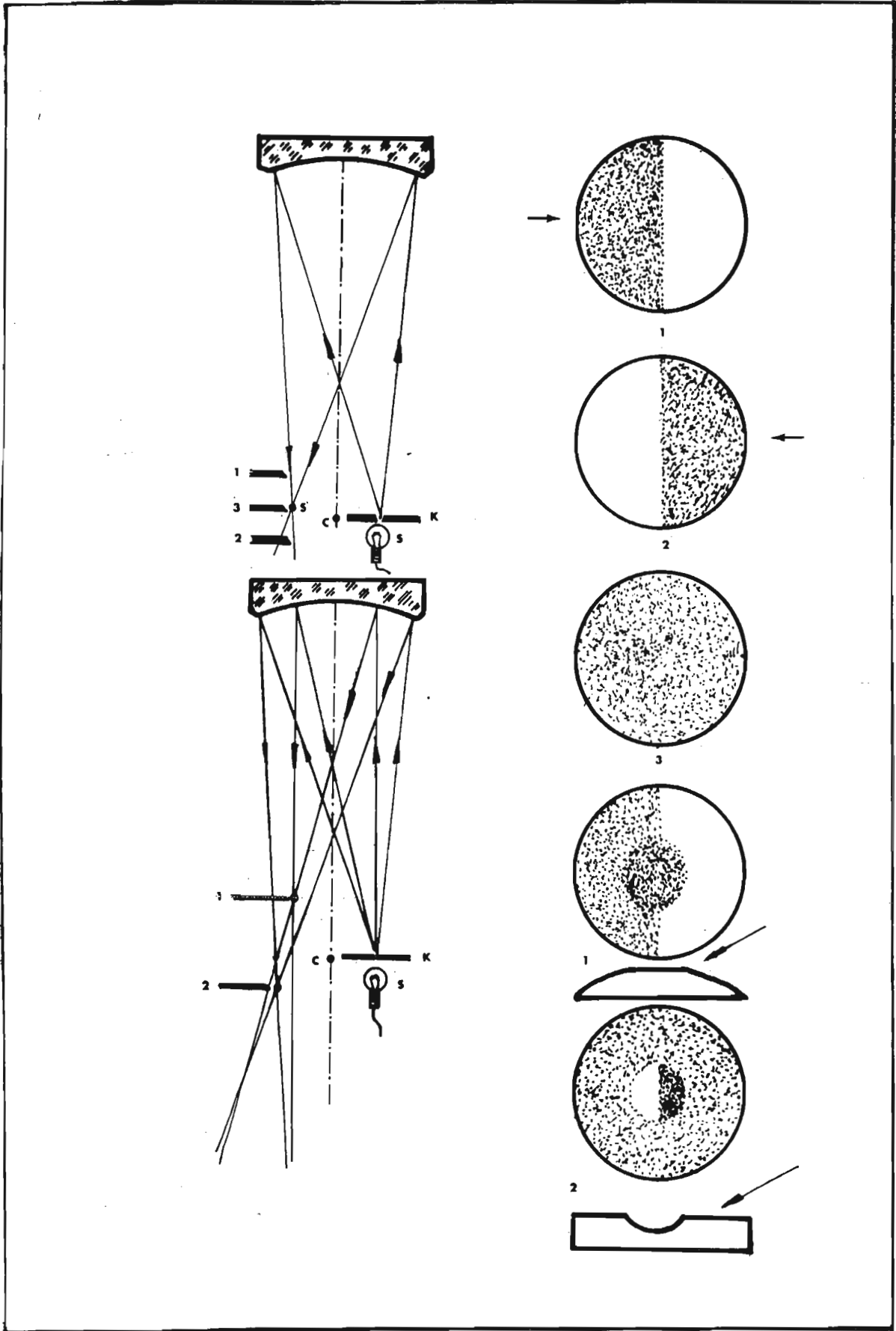
Ako se u fokusnoj ravni postavi oštrica tzv. Foucault-ovog "noža", tada će se pri njegovom pomjeranju u ravni normalnoj na optičku osu, u naznačenom smjeru, ispitivana površina ravnomjerno "gasiti". Ako se "nož" ne nalazi tačno u fokalnoj ravni, tada će se pri njegovom kretanju posmatraču činiti da preko ogledala prelazi sjena. Ta će se sjena kretati uporedo s nožem, ukoliko se ovaj nalazi pred fokusom, ili nasuprot nožu, ako se nalazi iza fokusa (slika 28). Pomoću oblika ove sjene vrlo je lako otkriti greške i nepravilnosti površine ogledala. Zbog nemogućnosti da se izradi potpuno tačkast izvor, a i zbog pojave difrakcije, sjena se malo komplikuje, ali u biti ostaje nepromijenjena.

Da bi pri testiranju astigmatizam bio što manji, rastojanje između noža i izvora svjetlosti treba da bude što manje.

Lik tačke se može posmatrati u raznim ravnima pomoću okulara.



Slika 27. Izgled uređaja za Fukoov metod polusjena i način mjerenja žižne daljine



Slika 28.

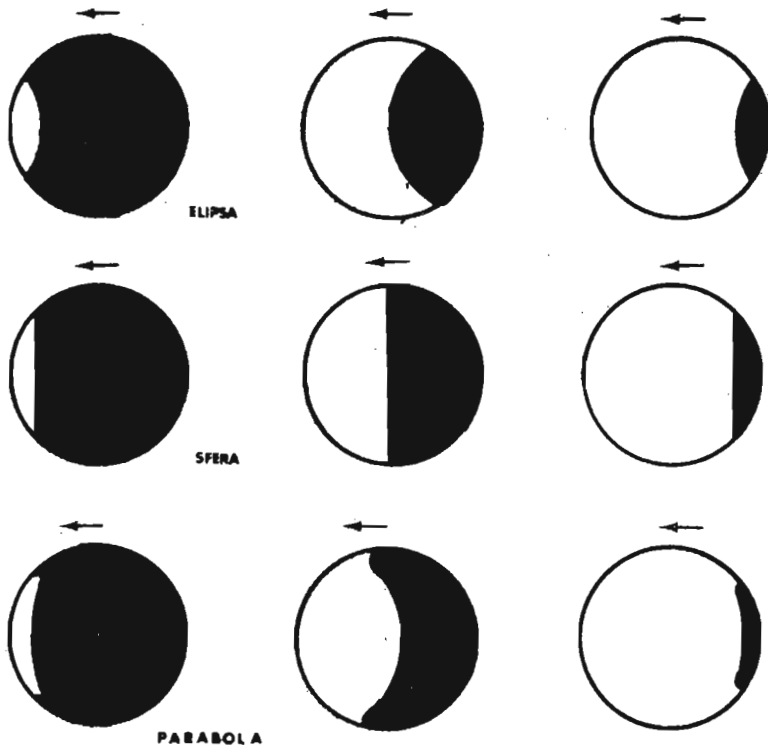
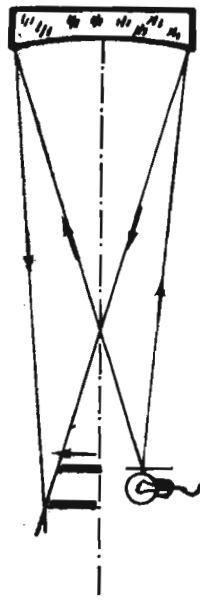
Razlika između predfokalnih i zafokalnih likova, u tom slučaju, govori o postojanju sferne aberacije. Razvučen lik u fokalnoj ravni je znak prisustva astigmatizma, a nepravilnost lika ukazuje na lokalne greške i neravnomjernu zagrijanost optike u montaži.

Već je rečeno da se iz oblika sjene može zaključiti kakav je oblik ogledala. Na slici 29 su prikazani oblici sjene za pojedine slučajeve. Sjena se vidi samo ako se nož nalazi ispred ili iza fokusa. Ukoliko se nož nalazi tačno u fokusnoj ravni ogledala (položaj 2. na slici 29) na površini ogledala će se vidjeti polusjena. Na ovom mjestu se dodiruju konusi svjetlosnih zraka, prednjeg-koji se skuplja ka posmatraču i zadnjeg-koji se širi ka posmatraču. Zbog malih, gotovo tačkastih razmjera, dovoljan je samo jedan "dodir" nožem, na mjestu gdje se konusi spajaju, pa da ogledalo momentalno zatamni. Međutim, ovakav rezultat se dobije samo ako se površina ogledala neznatno razlikuje od sfere. Potpuno druga slika se dobije ako različiti dijelovi ogledala imaju različitu krivinu. Jedan od takvih, u praksi najčešćih, slučajeva dat je na slici 28D. Neka, kao što je prikazano na slici 28D, centralni dio ogledala ima veću krivinu (tj. manji radijus zakrivljenosti) nego druge zone ogledala. U ovom slučaju nemoguće je odjednom presjeći sve zrake, zagrađivši im put u jednoj opštoj tački presjeka, jer nećemo dobiti jedan lik svijetle tačke u jednom centru krivine. Centralni dio ogledala obrazuje lik bliže ogledalu nego periferija. Ako se nož postavi u položaj 1 vidjeće se sjena kao na slici 1. Ako se nož premjesti u položaj 2, gdje lik formiraju vanjske zone ogledala, zatamniće se ravnomjerno periferija, ali će lijeva polovina središnje zone ostati osvjetljena.

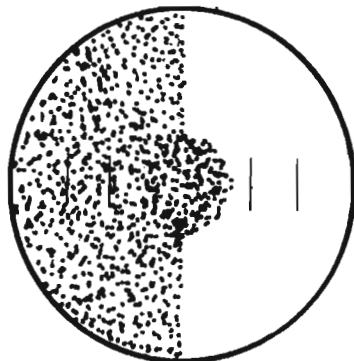
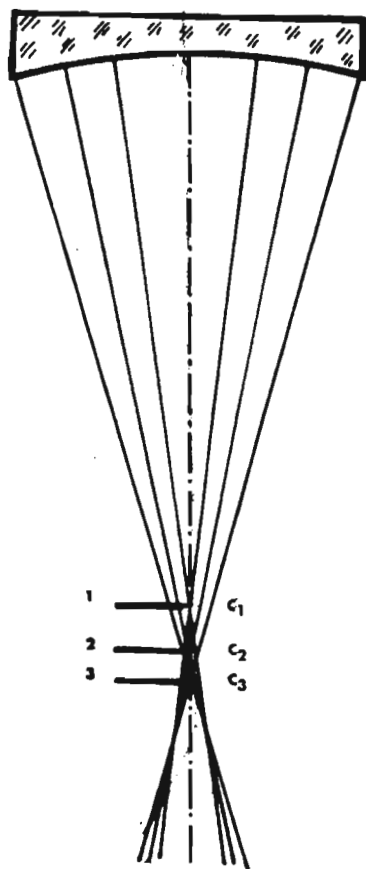
Posmatranjem tih "sjena" koje se javljaju na ogledalu pri presijećanju konusa na raznim udaljenostima od ogledala, nije teško primijetiti da su one raspoređene tako kao kad bi površina imala grubi reljef i bila osvijetljena kosim zracima koji idu u susret kretanju noža. Taj prividni reljef je u određenoj mjeri sličan jako preuveličanom stvarnom reljefu površine ogledala, u odnosu na površinu pravilne sfere.

Ravno, bez ikakvog reljefa, pri ovom ispitivanju, izgledaće samo tačno sferna površina (slika 31) i istovremeno će potamniti u svim svojim tačkama, ako se nož postavi tačno u centar krivine.

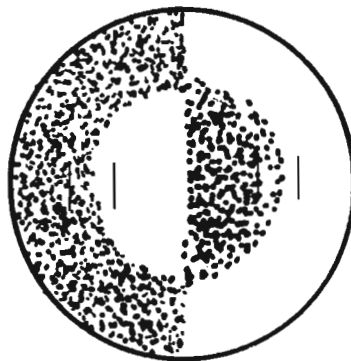
Svako mjesto na ogledalu sa manjom krivinom pri ispitivanju će ličiti na uzvišenje i mjesta sa većom krivinom izgledaće kao udubljenja. Treba obratiti pažnju na to da je reljef vidljiv samo u slučaju kad se nož nalazi dovoljno blizu tačke presjeka zraka. Lako se uvjeriti da se udaljavanjem noža od te tačke (bez razlike, naprijed ili nazad) reljef postaje sve nejasniji, dok na kraju ostane samo glatka sjena sa ravnim krajem, koju neiskusni amater može pobrkati sa slikom tačne sfere. Ako je odstupanje površine ogledala od sfere malo, reljef se može primijetiti samo pri vrlo malim rastojanjima noža od tačke presjeka zraka (nekoliko minuta). Neophodno je da površina ima vrlo velike nepravilnosti da bi se one uočile pri velikim rastojanjima noža od presjeka zraka. Na slici 32 dat je izgled polusjene koju daje parabolično ogledalo.



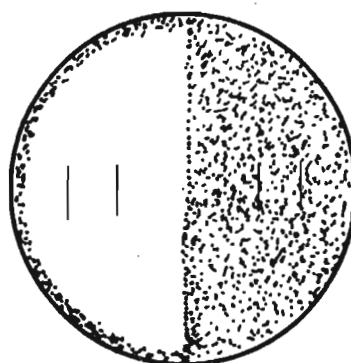
Slika 29.



1

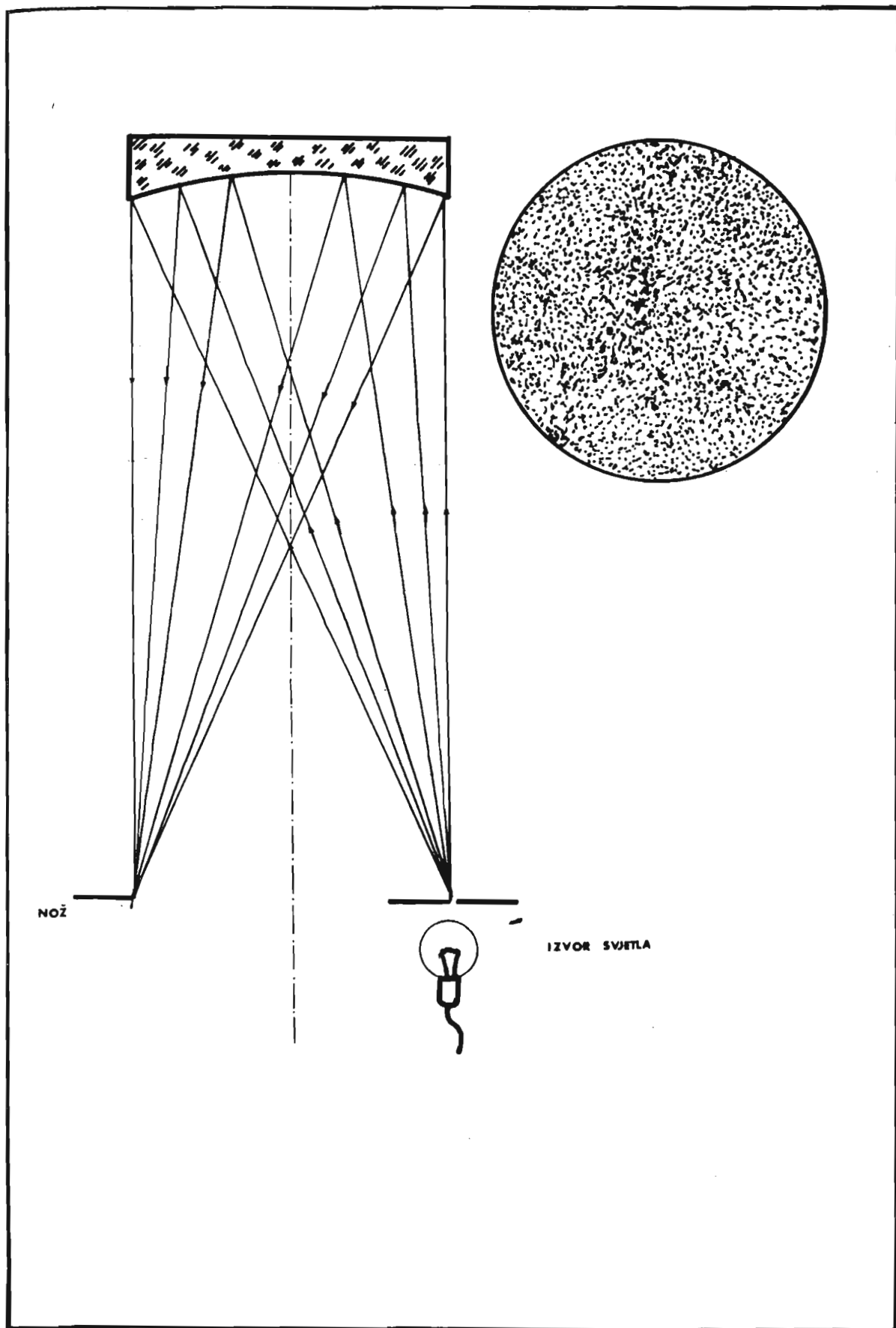


2



3

Slika 30.



Slika 31.

11. P o l i r a n j e o g l e d a l a

Ono ima za cilj da površini ogledala da potpun sjaj, a i željeni oblik. Vršiti se cezijum-oksidiom ili željeznim-oksidiom (staklobrusači ga zovu "ruš"). I ovaj prah treba preprati na isti način kao i najfiniji brusni prah.

Počinja se tako da se na matricu kistom nanese prva frakcija ovog praha pomiješanog s vodom i to u nešto debljem sloju. Ogledalom se pritisne matrica (sasvim slabo!) i tako drži oko 1 minut.

Polira se istim potezima kao i kod brušenja najfinijim karborundumom (potezi sa slike 15). Poslije petnaestak minuta poliranje treba vršiti optičke kontrole. Ukoliko se desi da ogledalo ima neke deformacije treba ih korigovati. Radi ilustracije na slici 32 je dato nekoliko primjera najčešćih grešaka. Pored slike je data dužina poteza kojim treba raditi da bi se korigovale date greške.

Iz poglavlja o optičkim kontrolama zna se da se sferna površina manifestuje kao ravna ploča osvijetljena kosim zracima, tj. ravnomjerno tamna ploha (primjer 1 na slici 32). U slučaju 2 su rubovi ogledala "spušteni", tj. "niži" od sferne površine koja je ravnomjerno tamna. U ovom slučaju je potrebno dugim potezima (D/3) ispolirati srednji dio ogledala koji se na taj način "spusti" na nivo rubova. Obrnut slučaj je slučaj 3. Sada se radi kratkim potezima (D/5). U primjeru 4 su centralni dijelovi ogledala "viši" od sferne površi pa se manifestuju kao ispupčenje na ravnoj ploči osvijetljenoj sa strane.

Sada je dugim potezima (D/3) potrebno ukloniti to ispupčenje. Ovo su bili samo najprostiji primjeri grešaka koje se javljaju.

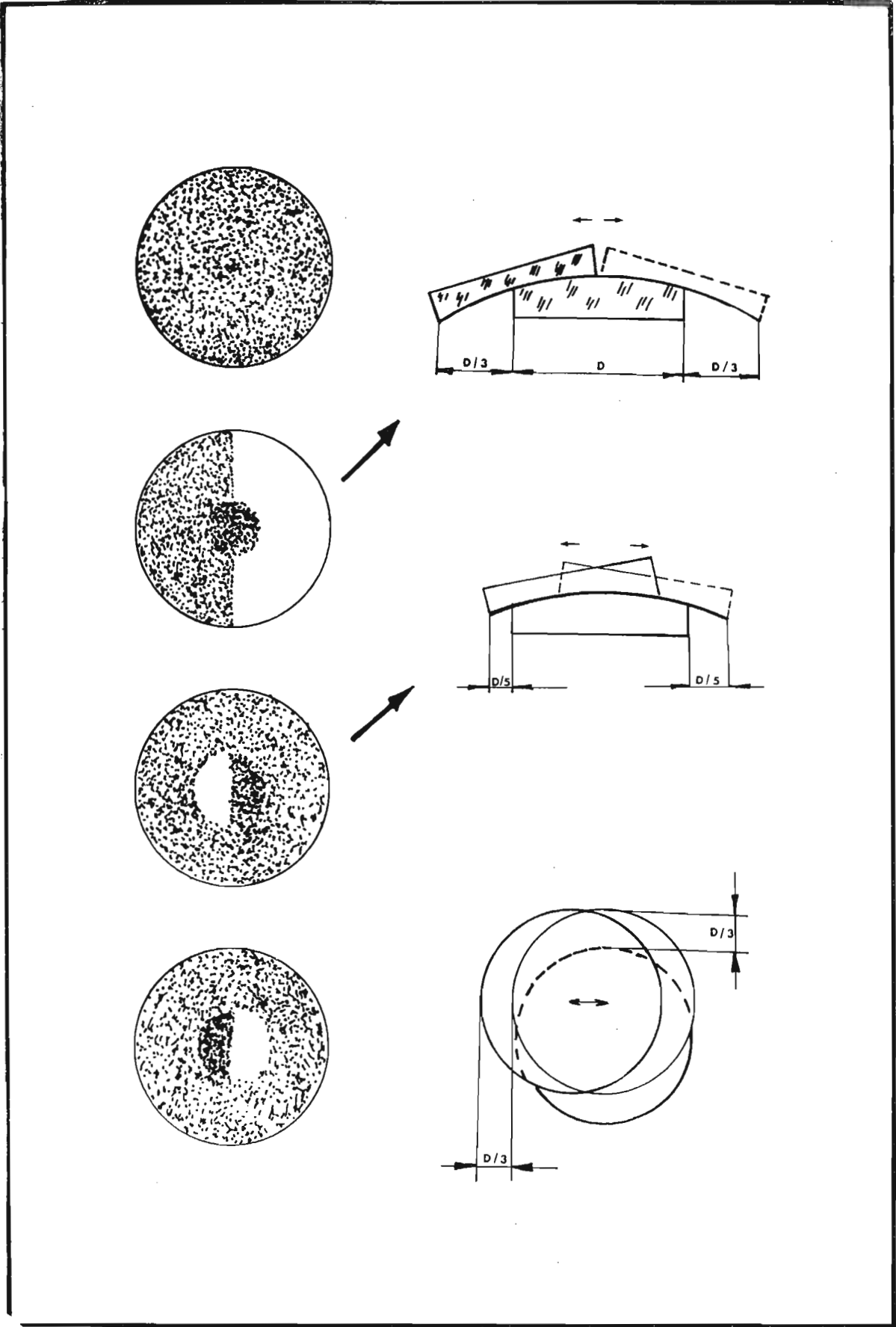
U praksi se vrlo često pojavljuju kombinacije 2 ili više grešaka. Međutim, svaka greška se može popraviti samo treba primjeniti odgovarajuću tehniku rada. Treba zapamtiti da se dugim potezima (D/3) produbljuje sredina, dok se kratkim potezima (D/5) intenzivnije poliraju rubovi. Nastavak poliranja se sastoji u tome da se površina ogledala uglaća tako da po njoj ne bude "rupica" koje su nastale pri brušenju, a da pri tom oblik ogledala bude sferan. Čitav posao je, u stvari, popravljavanje grešaka. Na slici 33 je prikazano napredovanje poliranja. Površina ogledala se ispituje dobrom lupom (recimo okularom žižne daljine 5 mm ili manje). Koncentracija rupica treba biti otprilike ista i na rubovima i u sredini ogledala. Kad se postigne da površina ogledala nema rupica, a da pri tom oblik bude sfera, može se smatrati da je ogledalo skoro završeno.

Na grafiku poliranja (slika 34) je data zavisnost napredovanja poliranja od vremena.

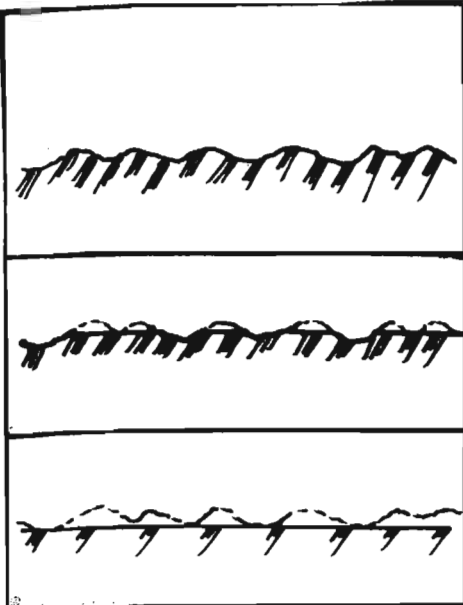
12. Grafički prilaz

Foucault - ovoj metodi
polusjena

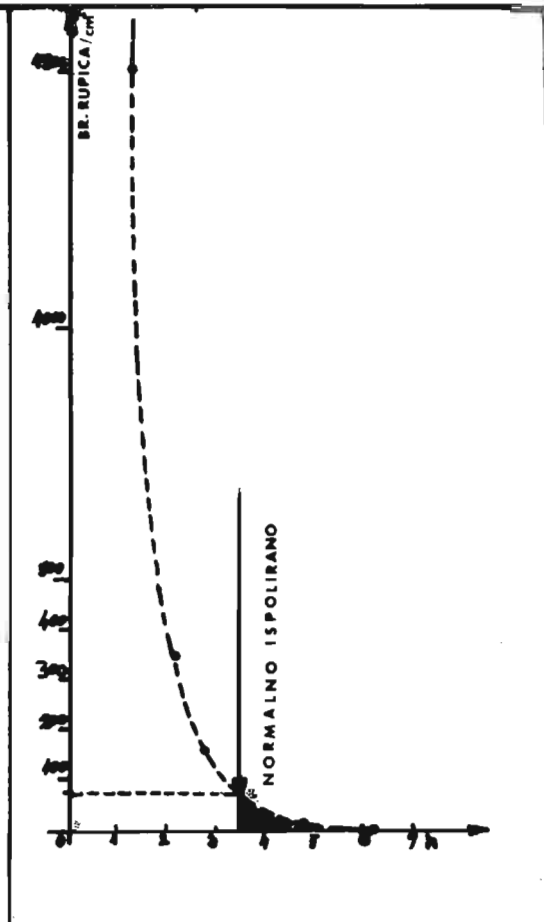
Pri ispitivanju pojedinih koncentričnih zona ogledala potrebno je da fokus svake zone poluprečnika r bude tačno za r^2/R dalje od ogledala nego fokus središnje zone, koji se nalazi na udaljenosti r od ogledala.



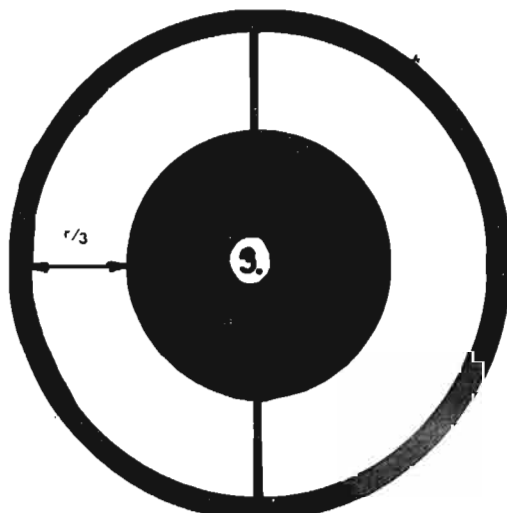
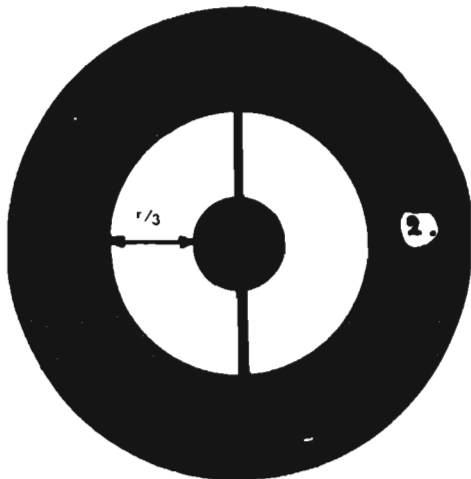
Slika 32.



Slika 33.



Slika 34.



Slika 35.

Ako je taj uslov zadovoljen, ogledalo je savršeni paraboloid. /Smatraćemo da je izvor svjetlosti nepomičan u toku testa./

Za testiranje paraboličnih ogledala primjenjuje se jedan vrlo dobar metod koji se sastoji u sljedećem:

Od debljeg kartona se izrežu krugovi koji preklapaju, odnosno ostavljaju otvorene pojedine zone ogledala. U stvari metod je vrlo jednostavan. Pri testiranju se ostavljaju otvorene pojedine zone ogledala i nožem se traže fokusi tih zona. Pri tom je potrebno bilježiti položaje fokusa. Preciznim mjerenjem rastojanja tih fokusa moguće je utvrditi koliko se površina ogledala razlikuje od parabole.

Vrlo je nepraktično nastavljati poliranje sve dotle dok se sva očitavanja položaja noža ne poklope sa položajem r^2/R . Umjesto toga, posao treba smatrati završenim onda kada se ogledalo razlikuje od paraboloida toliko malo da to nema nikakvog štetnog uticaja na astronomske likove. Ogledalo se može smatrati završenim ako zadovoljava sljedeća dva kriterija:

1. Geometrijski lik najmanje nepravilnosti ne smije biti veći od veličine teoretskog Airy-evog diska.

2. Maksimalna greška talasnog fronta ne smije biti veća od $1/4$ talasne dužine svjetlosti i defekti površine moraju biti bar duplo manji od ovoga na cijeloj površini.

Ovi uslovi vrijede za likove u žižnoj ravni, a ne u centru zakrivljenosti gdje se primjenjuje Foucault-ov test.

Vrlo je lako matematički redukovati očitavanja dobijena metodom polusjene.

Zonske maske se prave od debljeg kartona. Poluprečnik ogledala se podijeli na 4 zone. Svaka maska ostavlja otvorenu jednu od tih zona. Centralna zona se uzima kao prva. Izgled ovih maski je prikazan na slici 35. Pošto je prvi uslov obično teže zadovoljiti pri parabolizaciji ogledala, vrlo je praktično napraviti grafik za dato ogledalo. Jednom pripremljen, ovaj grafik se primjenjuje za sve serije očitavanja u Foucault-ovom testu. Mada ne pomaže direktno u zadovoljavanju drugog kriterija, ovaj grafik je vrlo koristan pri zadovoljavanju prvog.

Sljedeća tabela i dijagram na slici 36 prikazuje tok postupka. U prve dvije kolone su date vrijednosti r^2 i r^2/R . Naravno, pri tome je: $R=2F$

1	2	3	4	5
r^2	r^2/R	$-\frac{2R\rho}{r}$	gornja	donja

U trećoj koloni date su vrijednosti $\frac{2R\rho}{r}$, gdje je ρ teoretski radijus Airy-evog diska za idealan optički sistem, koji se nalazi iz dobro poznate formule:

$$\rho = 1,22 \lambda \cdot \frac{F}{D}$$

Pri tom se uzima da je $\lambda = 5600 \text{ \AA}$, tj. 0,0056 mm, pošto je za tu talasnu dužinu oko najosjetljivije. Značenje izraza

$\frac{2R\rho}{r}$ je sljedeće:

Svako očitavanje u testu sa zonskim maskama može se neznatno razlikovati od

$$\frac{r^2}{R}, \text{ ali ako je razlika veća od}$$

$$\frac{2R \cdot \rho}{r} \text{ longitudinalna aberacija u žižnoj ravni teleskopa daće lik geometrijske tačke veći od difrakcionog diska-kršeći pri tom prvi kriterij. Ovo odstupanje je dosta veliko za unutrašnje zone ogledala, ali se vrlo brzo smanjuje što se više približavamo rubu.}$$

longitudinalna aberacija u žižnoj ravni teleskopa daće lik geometrijske tačke veći od difrakcionog diska-kršeći pri tom prvi kriterij. Ovo odstupanje je dosta veliko za unutrašnje zone ogledala, ali se vrlo brzo smanjuje što se više približavamo rubu.

Kolona 4 je jednaka zbiru kolona 2 i 3, dok je kolona 5 jednaka razlici 2 i 3. Kada se grafički prikaže zavisnost kolona 2, 4 i 5 od r , dobijamo oblast u obliku roga u kojoj treba da leže očitavanja dobijena metodom polusjena.

Ukoliko se izlomljena linija, koja se dobije kad se unesu očitavanja, nalazi izvan oblasti, opravdano je izvršiti njeno vertikalno pomjeranje kao što je prikazano na dijagramu. Ovo je ekvivalentno dodavanju ili oduzimanju konstante od svih očitanih vrijednosti, a efekat je isti kao kad bi mjerenje bilo ponovljeno sa pomjerenom skalom. Poslije pomjeranja se može primijetiti (u ovom slučaju) da se izlomljena linija dobro uklapa (slika 36), pokazujući da je ogledalo dobro urađeno. Nakon ovoga moguće je izvršiti kompletan proračun talasnog fronta opisanog u knjizi "La construction du telescope d' amateur" J. Texereau-a.

Grafikon, takođe, može pokazati kada je ogledalo bliže sfernom nego paraboličnom obliku. Očitavanja dobijena tokom testa biće skoro identična u slučaju sfere. Unoseći ova očitavanja dobije se prava horizontalna linija.

Kontrola oblika ogledala pomoću grafikona je vrlo praktična jer je daleko lakše objektivno ocijeniti oblik ogledala u odnosu na klasičnu metodu polusjena.

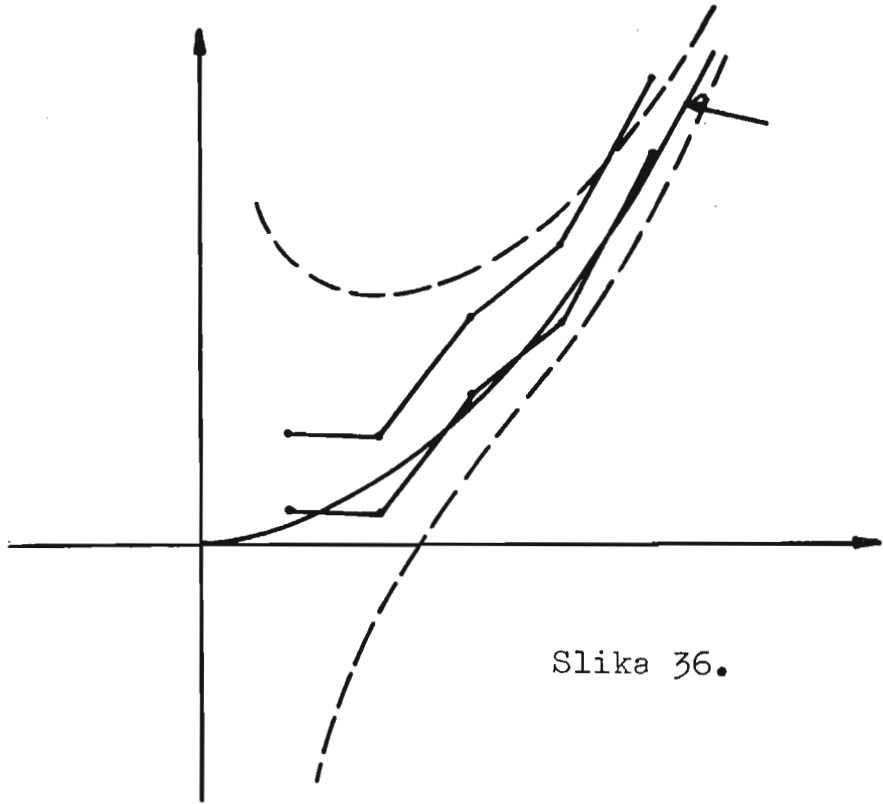
13. P a r a b o l i z a c i j a o g l e d a l a

Već ispolirano sferno ogledalo je potrebno još parabolizirati. Ovo se vrši najfinijom frakcijom praha za poliranje. Radi se potezima kao na slici 37. Matrica je malo preuređena, tj. kanali su malo prošireni prema rubovima. Kao što se vidi na slici radi se dugim potezima ($D/3$) sa nešto pomjerenim centrom ogledala u odnosu na centar matrice ($D/3$).

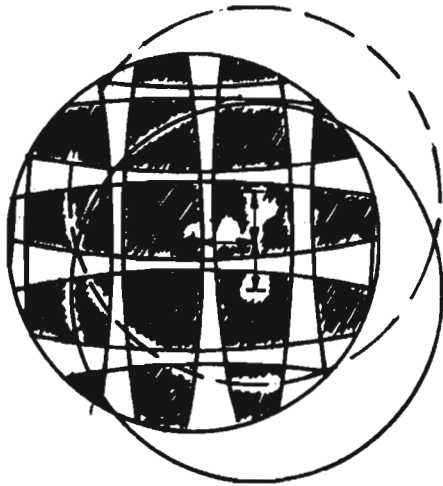
Optičke kontrole treba vršiti svake 2-3 minute. Oblik sjene treba da bude kao na slici 29 (slučaj 3). Ovo treba da bude samo orijentaciona ocjena, dok se pravo kontrolisanje vrši metodom opisanom u prethodnom poglavlju.

Gotovo ogledalo se može poslati u neku tvornicu da se aluminizira ili posrebri. Srebrni sloj je slabiji po trajnosti od sloja aluminijskog. Jedna od metoda srebrenja je data u knjizi J. Texereau-a "La construction du telescope d'amateur".

1	2	3	4	5
r	r^2/R	$2R/r$	gornja	donja

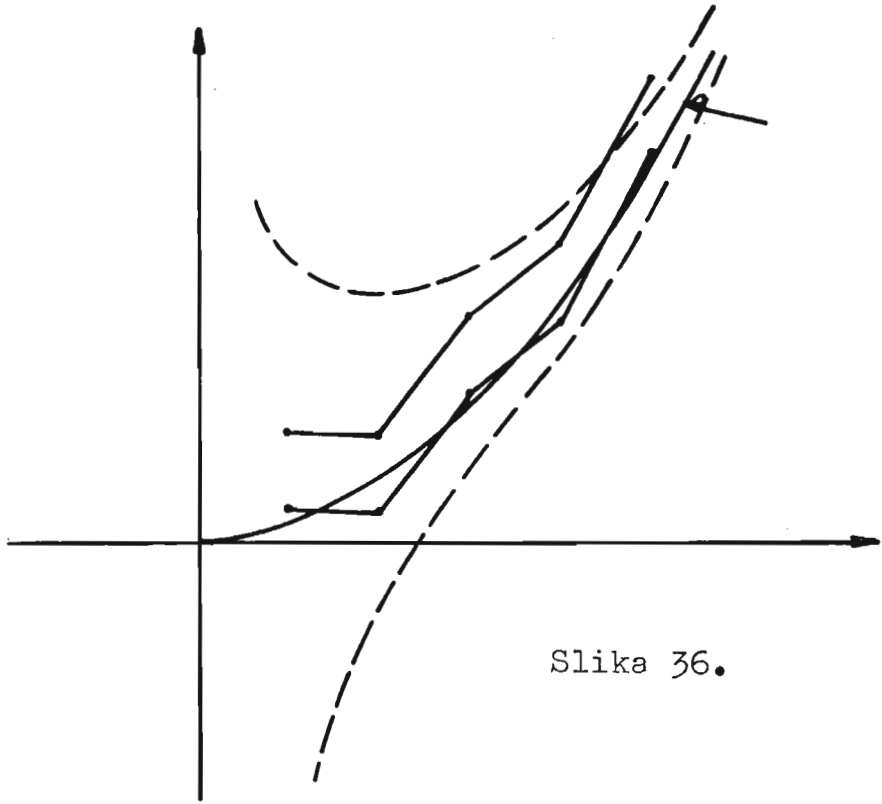


Slika 36.

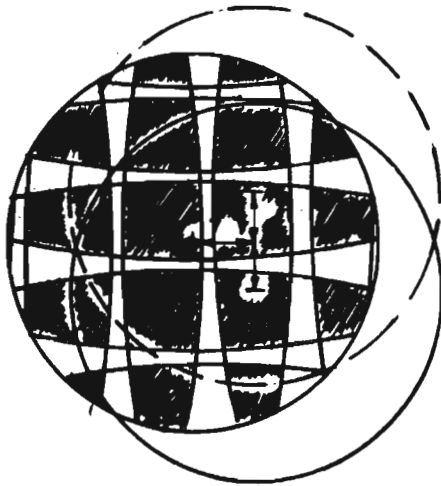


Parabolizacija ogledala.

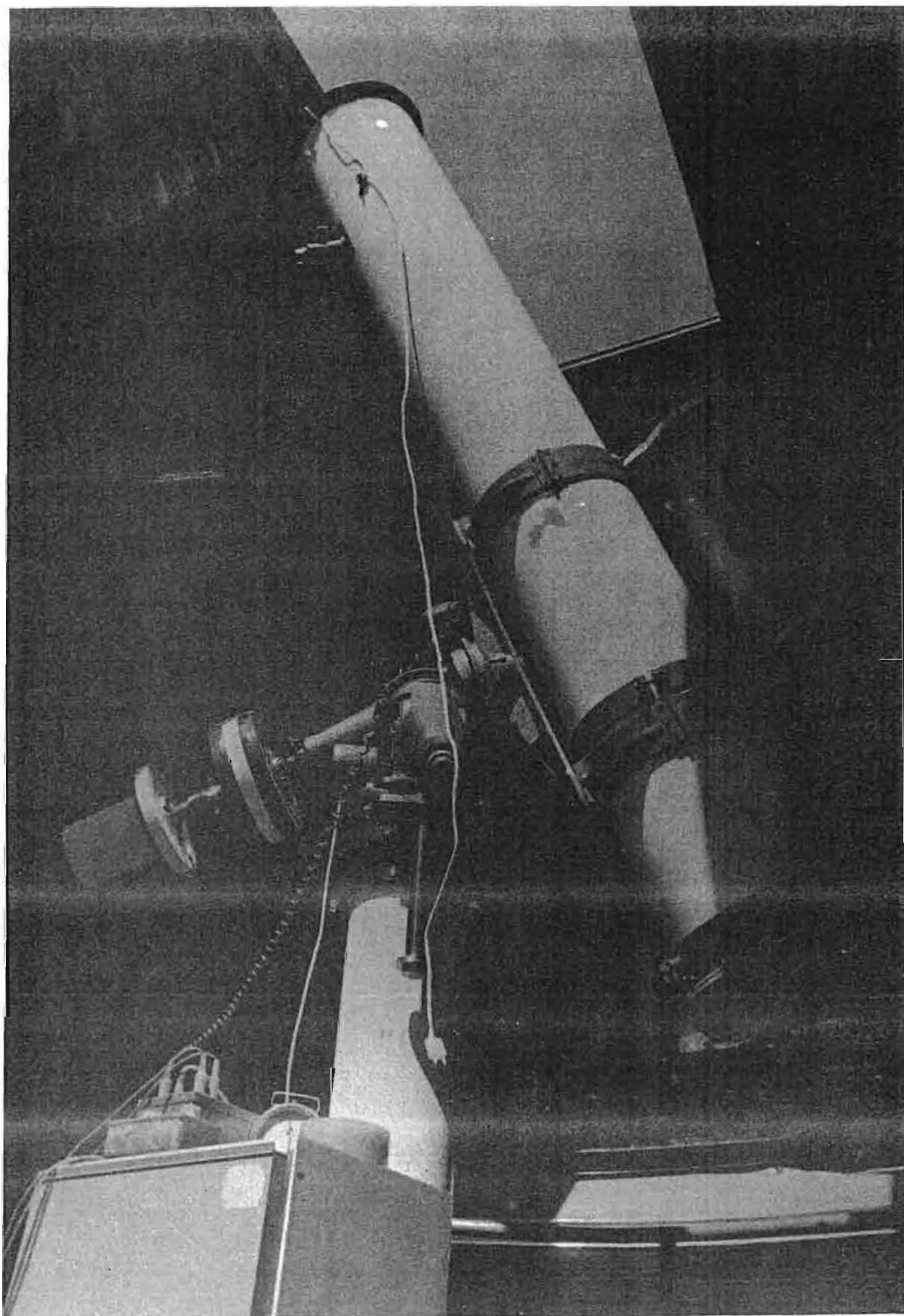
1	2	3	4	5
r	r^2/R	$2R/r$	gornja	donja



Slika 36.



Parabolizacija ogledala.



Fotografija br. 5. Waisala reflektor Astronomske opservatorije u Sarajevu.

NEKI PARAMETRI TELESKOPA

14. Uvećanje teleskopa

Uvećanje teleskopa određuje se jednostavnim i za praktičnu upotrebu zgodnim izrazom:

$$U = \frac{F}{f} = \frac{D}{d} \quad (1)$$

ili

$$U = \frac{\operatorname{tg} \alpha'}{\operatorname{tg} \alpha} \approx \frac{\alpha'}{\alpha} \quad (2)$$

(za male uglove je $\operatorname{tg} \alpha \approx \alpha$)

gdje je U uvećanje, F i f fokusne daljine objektiva i okulara, a D i d prečnik objektiva i prečnik lika objektiva, tj. prečnik izlaznog snopa iz okulara. α' je ugao pod kojim golo oko vidi dvije bliske zvijezde, a α ugao pod kojim se te iste zvijezde vide u teleskopu. Mjerenje ovih uglova je teže od mjerenja fokusnih daljina i prečnika pa je i izraz (1) zgodniji za računanje uvećanja. Prečnik izlaznog snopa iz okulara, tj. prečnik lika objektiva može se mjeriti ako se mjerna skala stavi na okular, a teleskop uperi u nebo. Tako se određuje uvećanje pri korištenju okulara nepoznate fokusne daljine.

Za određeni teleskop D i F su fiksne veličine. Iz formule (1) vidimo da smanjenjem f raste

uvećanje teleskopa, tj. da uvećanje biramo izborom okulara. Ako želimo da sva svjetlost koju sakupi objektiv ide u oko, prečnik izlaznog snopa iz okulara treba da je jednak prečniku zjenice oka δ . Najmanje uvećanje koje zadovoljava ovaj uslov dobijamo iz formule (1) zamjenom d za δ .

$$u = \frac{D \text{ (mm)}}{\delta \text{ (mm)}} \quad (3)$$

Pri dobro na tamu adaptiranom oku i pri posmatranju slabih objekata $\delta = 6 \text{ mm}$, pa formulu (3) možemo pisati kao:

$$u = \frac{D \text{ (mm)}}{6 \text{ (mm)}} \quad (3')$$

Iz (1) se može naći fokusna daljina okulara pri takvim uslovima:

$$f = 6 \frac{F}{D} \text{ (mm)} \quad (4)$$

Kada je prečnik izlaznog snopa iz okulara jednak prečniku zjenice oka, teleskop će dati najsjajnijiu sliku. Naročito treba obratiti pažnju da ovi uslovi budu zadovoljeni pri posmatranju najslabijih objekata koji se mogu vidjeti datim teleskopom kako bi efikasnost upotrebljenog teleskopa bila najveća.

Ako se koristi malo uvećanje, $\delta \ll d$, tada je izlazni snop iz okulara većeg prečnika od prečnika zjenice i oko ne prima svu svjetlost koju objektiv skuplja. Time se ostvaruje isti efekat kao kada bi se upotrebio teleskop manjeg prečnika objektiva ili kao kada bi se postavila blenda na objektiv.

Mnogo veća uvećanja se koriste kada teleskop daje dovoljno sjajne likove, tj. kada objektiv skuplja mnogo svjetlosti što imamo u slučaju velikog prečnika objektiva ili sjajnog objekta koji se posmatra ili i jednog i drugog. Za posmatranje planeta i dvojnih zvijezda mogu se koristiti uvećanja do $20D$ ako prečnik objektiva mjerimo u centimetrima i $50D$ ako ga mjerimo u inch-ima. Ipak je najbolje krajnje moguće uvećanje određivati zavisno o "viđenju" (vidi poglavlje 29)

Vidno polje teleskopa zavisi od uvećanja koje se koristi. Lako ga je odrediti ako se zna vidno polje okulara. Ono se podijeli sa uvećanjem teleskopa. Za okular vidnog polja 30° i uvećanje teleskopa od 100x vidno polje teleskopa će biti $0.3^\circ = 18'$ (detaljnije o okularima vidi M. Muminović, "Praktična astronomija").

Da se poveća uvećanje teleskopa može se dodati i tzv. Barlow leća. To je rasipno sočivo koje produžava fokusnu daljinu teleskopa obično 2-3 puta. Ukupno uvećanje se tada može računati tako što se izračuna uvećanje bez Barlow leće i rezultat pomnoži sa 2 ili 3, ili što se u izraz (1) stavi umjesto fokusne daljine F dvostruka ili trostruka fokusna daljina.

Konačan izbor uvećanja ovisi, naravno, o vrsti posmatranja. Mala uvećanja se koriste pri posmatranju većih oblasti neba, Mjeseca, sjajnih maglina, skupova

i galaksija, a velika uvećanja pri posmatranju dvojnih zvezda i površine planeta.

Primjer:

Neka imamo teleskop sa prečnikom objektiva $D=30$ cm (12 inča) i fokusnom daljinom od $F= 2063$ mm. Najmanje uvećanje pri kojem se maksimalno koristi prečnik objektiva (sva svjetlost koju objektiv skupi ide na mrežnjaču) dato je izrazom (3')

$$u = \frac{300 \text{ mm}}{6 \text{ mm}} = 50 \text{ puta}$$

Pri tim uslovima treba koristiti okular sa fokusnom daljinom od

$$f = 6 \frac{F}{D} \text{ mm} = 6 \frac{2063}{300} \text{ mm} = 41 \text{ mm}$$

Maksimalno moguće uvećanje za ovaj teleskop je:

$$30 \cdot 20 = 600 \text{ puta (prečnik objektiva u cm)}$$

$$12 \cdot 50 = 600 \text{ puta (prečnik objektiva u inch-ima).}$$

15. Uvećanje teleskopa kao kamere

Teleskop se može preobraziti u kameru na dva načina. Prvi se koristi najčešće pri posmatranju

Sunca projekcijom na zaklon. Okular se udalji fokusne ravni objektiva za manje od dvije fokusne daljine. Na određenoj udaljenosti od okulara stvoriće se lik uvećan u odnosu na njegovu dimenziju u fokusnoj ravni objektiva (sl. 38).

Drugi način je uvođenje novog objektiva na izlaznom zraku teleskopa, npr. dodavanjem običnog fotoaparata iza okulara. Ako je f' fokusna daljina teleskopa i objektiva zajedno, F' , računa se iz

$$F' = f' \frac{F}{f} = f' \frac{D}{d} = f' U \quad (5)$$

i naziva se ekvivalentna fokusna daljina. Za $\frac{f'}{f} > 1$

očigledno je da kamera uvećava, a za $\frac{f'}{f} < 1$

umanjuje lik u odnosu na predmet.

16. R a z m j e r f o t o p l o č e

Pri fotografisanju neba teleskopima ili ako je potrebno snimiti veću oblast, kamerama (astrografima), kao važna karakteristika javlja se razmjer fotoploče s . To je broj lučnih sekundi po milimetru duž ploče. Može se predstaviti i preko linearnih dimenzija lika L relacijom

$$s = \frac{1}{L} \left(\frac{\text{linija}}{\text{mm}} \right) \quad (6)$$

Linearna dimenzija lika L predstavlja udaljenost dviju tačaka na fotoploči koje su na nebu udaljene za neki ugao β (sl.). U slučaju da je β mali ugao imamo

$$\begin{aligned} \beta = 1^\circ & \quad L = \frac{F \text{ (cm)}}{57.3} \\ \beta = 1' & \quad L = \frac{F \text{ (mm)}}{3438} \\ \beta = 1'' & \quad L = \frac{F \text{ (mm)}}{206265} \end{aligned} \quad (7)$$

gdje je F fokusna daljina objektiva kamere, a $^\circ$, $'$ i $''$ oznake za stepene, lučne minute i sekunde. Kamere namjenjene snimanju Mliječnog Puta i meteora mogu imati razmjer fotoploče od nekoliko hiljada lučnih sekundi po milimetru, dok teleskopi namjenjeni fotografisanju planeta imaju razmjer od manje od jedne do nekoliko lučnih sekundi.

Primjer:

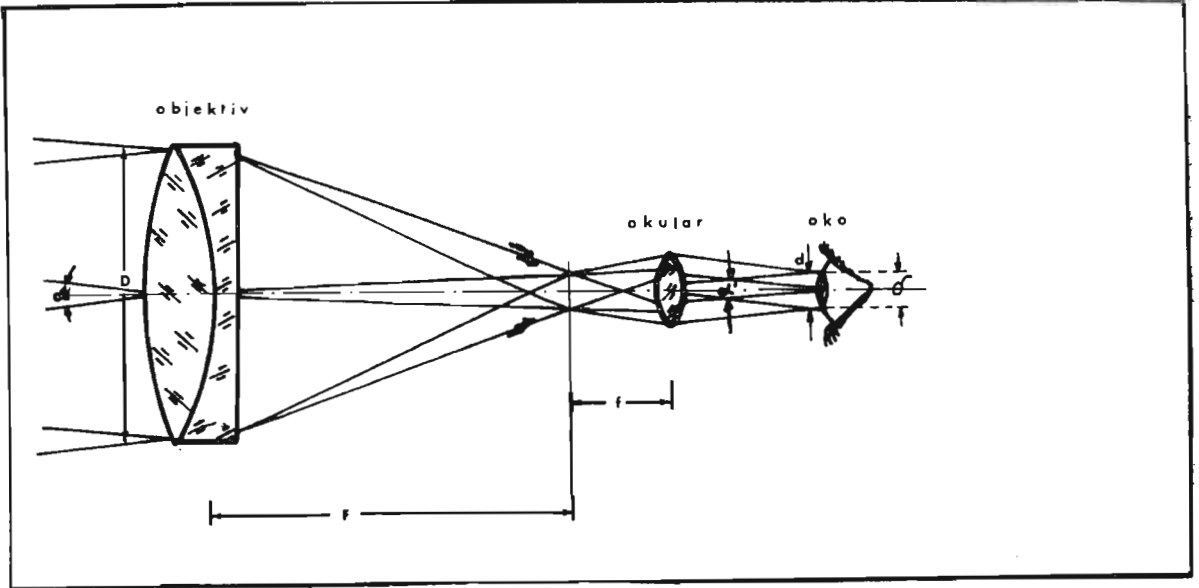
Za astrograf sa fokusnom daljinom objektiva $F = 375$ mm slijedi

$$\beta = 1^\circ \quad L = 0.65 \text{ cm} = 6.5 \text{ mm}$$

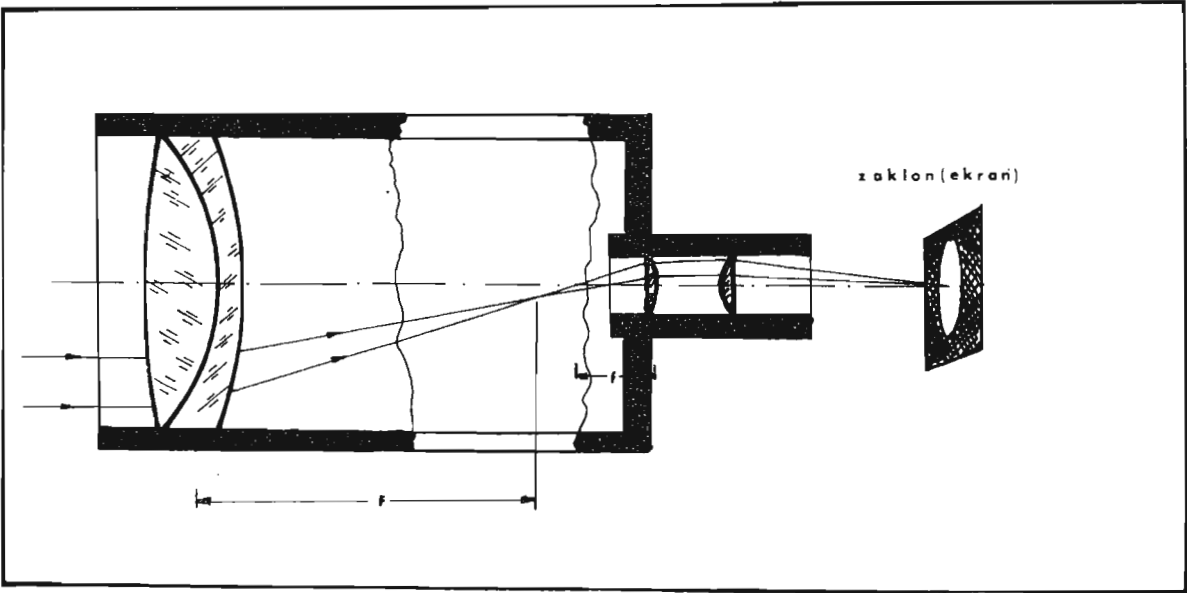
$$\beta = 1' \quad L = 0.1 \text{ mm}$$

Objekti na nebu međusobno udaljeni 1° biće na snimku udaljeni 6.5 mm, a dvojne zvijezde na udaljenosti od $1'$ na ploči će biti razmaknute za $1/10$ mm. Razmjer ploče za ovaj astrograf je

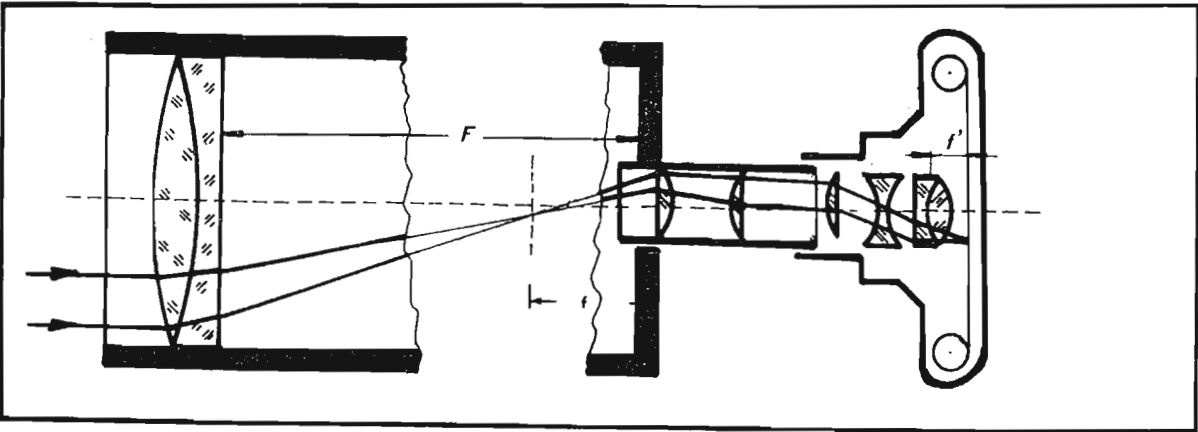
$$s = \frac{1}{L} = \frac{9.2'}{\text{mm}} = \frac{554''}{\text{mm}}$$



Slika 37. Prikaz veličina za određivanje uvećanja



Slika 38. Projekcija Sunca na zaklon



Slika 39. Teleskop kao kamera dodavanjem objektiva foto-aparata

Za objektiv komercijalnog fotoaparata, koji najčešće ima fokusnu daljinu od 50 mm, je

$$\beta = 1^{\circ}$$

$$L = 0.87 \text{ mm}$$

$$s = \frac{4138 \text{ ''}}{\text{mm}} = \frac{69'}{\text{mm}} = \frac{1.15^{\circ}}{\text{mm}}$$

Za veće uglove β vrijedi

$$L = F \left[\frac{\beta}{3438} + \frac{1}{3} \left(\frac{\beta}{3438} \right)^3 \right] (\text{mm}) \quad (8)$$

gdje je β izraženo u lučnim minutama.

Formule vrijede u slučaju da je jedan od objekata u optičkoj osi objektiva kamere. Ako to nije bio slučaj formule su komplikovanije.

Može se odrediti i linearna udaljenost objekata na ploči ako je jedan od objekata, A, u optičkoj osi objektiva kamere, a drugi, C, nije. Neka su objekti na nebu udaljeni po rektascenziji $\Delta\alpha$ i po deklinaciji $\Delta\delta$. Na ploči će im razlika linearnih koordinata biti

$$\Delta x = \frac{\Delta\alpha \cdot 15 \cos \delta}{3438} F (\text{mm}) \quad \Delta y = \frac{\Delta\delta}{3438} F (\text{mm}) \quad (9)$$

gdje su α i δ izraženi u lučnim minutama.

Lako je dobiti i obrnute formule. Mjerenjem na snimku mogu se izračunati udaljenosti objekata po rektascenziji i deklinaciji

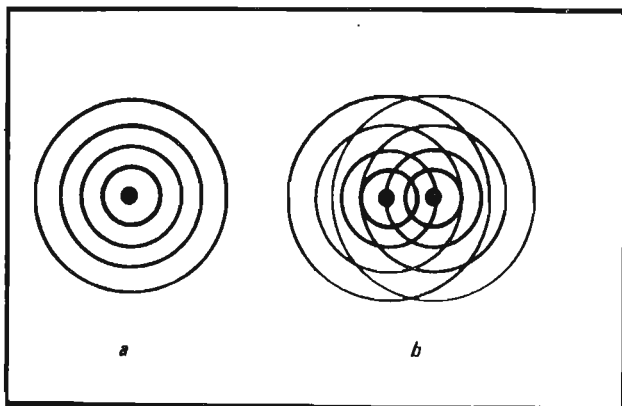
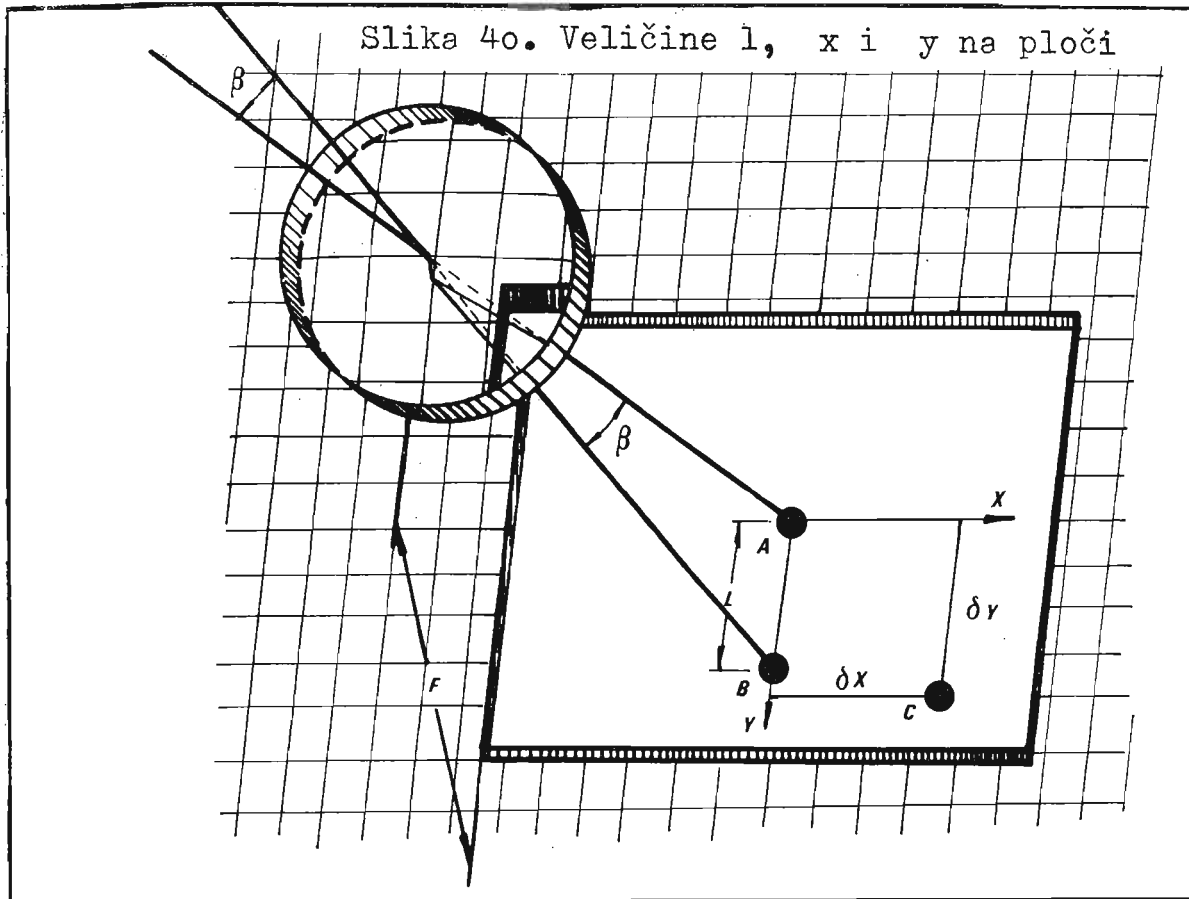
$$\Delta\alpha = \Delta x \frac{3438}{15''} \sec \delta \qquad \Delta\delta = \Delta y \frac{3438}{F} \qquad (10)$$

Pri određivanju Δx i Δy potrebno je pravilno orijentisati koordinate x i y po pravcima rektascenzije i deklinacije. Obratiti pažnju na to da li je ploča snimljena refraktorom ili reflektorom, jer različito obrću sliku. Najbolje je ose pravilno orijentisati poređenjem snimka sa odgovarajućim oblastima neba. Detaljnije o određivanju koordinata nebeskih tijela sa snimaka može se naći u knjizi "Praktična astronomija" od S.N. Blažeka, Naučna knjiga, Beograd, 1952.

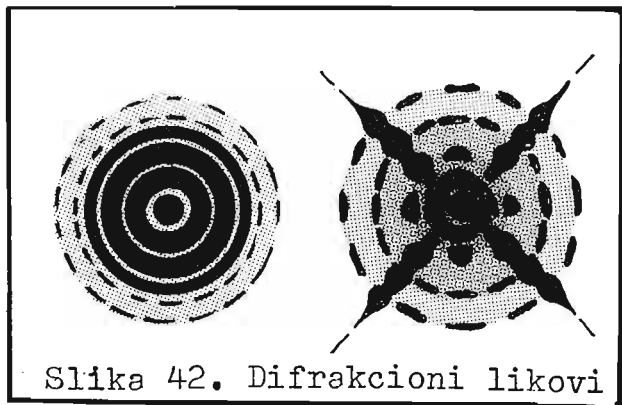
17. M o ć r a z d v a j a n j a t e l e s k o p a

Pri posmatranju dvojnih zvijezda istog sjaja desiće se da ih posmatrač vidi kao jednu zvijezdu ako su dovoljno bliske. Ni veća uvećanja neće ih moći razdvojiti jedino što će omogućiti posmatraču da je vidi, ne kao svjetlu tačku, već kao određen broj tamnih i svijetlih koncentričnih krugova (sl. 41). Kažemo da se tada posmatra difrakciona slika zvijezde. Ova pojava prouzrokovana je talasnom prirodom svjetlosti i nastaje difrakcijom upadne svjetlosti na ivičama otvora objektiva svih teleskopa. Ne postoji mogućnost da se izbjegne.

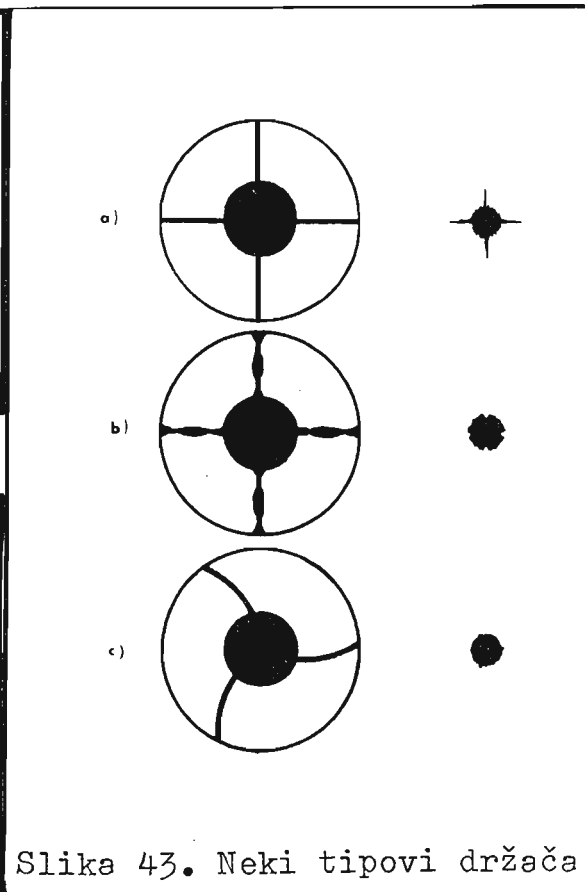
Kod teleskopa reflektora se stvara i difrakcija na držačima sekundarnog ogledala (sl. 43). Oblikom držača može se uticati na oblik difrakcionog lika.



Slika 41.



Slika 42. Difrakcioni likovi



Slika 43. Neki tipovi držača

U slučaju c uticaj držača na oblik lika je potpuno eliminisan. Razmotrićemo detaljnije pojavu difrakcije. Označimo sa γ ugaoni radijus difrakcione slike zvijezde, a sa a njen linearni radijus. Tada je

$$\gamma = \frac{1}{40} \frac{\lambda(\text{m}\mu)}{D(\text{cm})} \quad a = 1.22 \frac{F}{D} (\mu) \quad (11)$$

gdje je λ talasna dužina upadne svjetlosti, a je izraženo u lučnim sekundama. Vidimo iz (11) da linearna dimenzija difrakcione slike zvijezde zavisi samo od $\frac{F}{D}$ pri određenoj boji svjetlosti ($\lambda = \text{const.}$). To znači da je prečnik difrakcione slike jednak za sve teleskope sa istim odnosom $\frac{F}{D}$ bez obzira na veličinu prečnika objektiva. Ugaone dimenzije, međutim, zavise samo od prečnika objektiva ($\lambda = \text{const.}$). Da bi razlikovali dvije bliske zvijezde kao par, potrebno je da je što manje, što znači da moramo povećati prečnik objektiva. Najmanje ugaono rastojanje pri kojem se dva bliska izvora svjetlosti vide odvojeno, naziva se moć razdvajanja teleskopa. Osim difrakcije na nju najviše utiču uslovi u atmosferi. Povećati se može jedino upotrebom većih objektiva. Odredićemo vrijednost γ i a za slučaj vizuelnih posmatranja. Oko je najosjetljivije na svjetlost talasne dužine $\lambda = 5500 \text{ \AA} = 550 \text{ m}\mu$. Tada (11) postaje

$$\gamma = \frac{14}{D(\text{cm})} \quad a = 0.67 \frac{F}{D} (\mu) \quad (12)$$

Minimalno ugaono rastojanje λ između dvije zvijezde koje omogućuje da ih razlikujemo kao par (tada će difrakciona slika biti elipsa, ne krug) je određeno sa

$$\Delta \geq \frac{12}{D \text{ (cm)}} \quad (13)$$

gdje je Δ izraženo u lučnim sekundama. Nejednakost (13) vrijedi samo za parove istog sjaja. Ako je jedna komponenta slabijeg sjaja, mora biti veće od vrijednosti date sa (13).

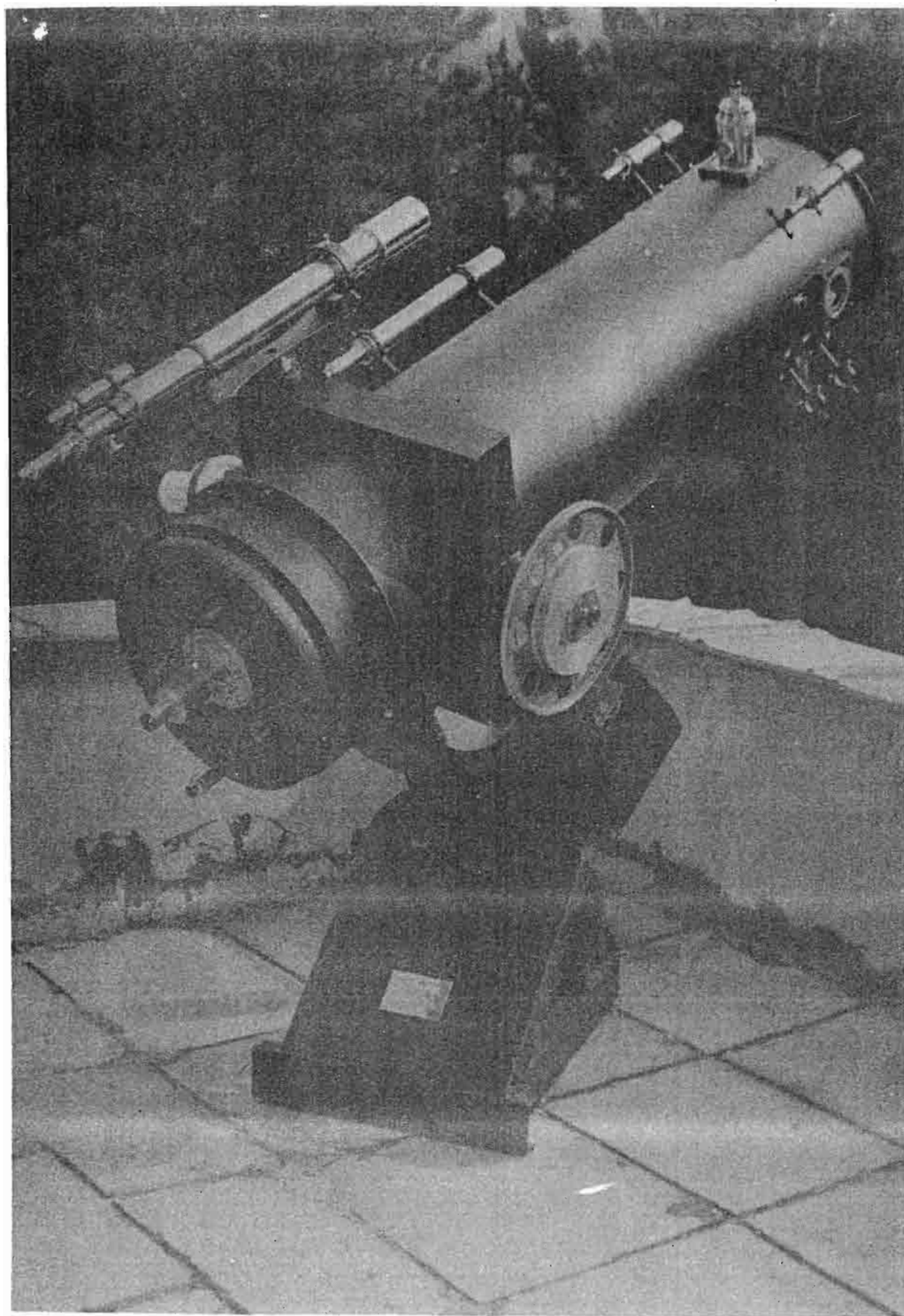
Na sl. 44 prikazana je raspodjela inteziteta svjetlosti u difrakcionom liku zvijezde duž prečnika lika. Objektiv je idealan, Centralni maksimum odgovara svijetlom unutrašnjem krugu na sl. 6a i u njega dolazi 95% ukupne količine svjetlosti zvijezde. Ostali svijetli prstenovi predstavljeni su malim maksimumima i na njih otpada ukupno 5% upadne svjetlosti.

Pri vizuelnim posmatranjima i oko postavlja uslov na moć razdvajanja teleskopa. Moć razdvajanja oka je oko 1 lučne minute. Ako je teleskop koji koristimo već u stanju da razdvoji par koji želimo posmatrati, onda uvećanje treba podesiti tako da ugaono rastojanje između zvijezda bude veće od 1 lučne minute. Granično uvećanje u tom slučaju je

$$U_{gr} = 5D \text{ (cm)} = R \text{ (mm)} \quad (14)$$

gdje je R poluprečnik objektiva. Za astromertijska posmatranja mikrometrima uzima se uvećanje 3-4 puta veće od U_{gr} . Veće uvećanje znači toliko slabljenje sjaja zvijezda da ih je teško ili nemoguće posmatrati, a ako su dovoljno sjajne onda je zgodnije za posmatranje difrakcionih prstenova nego njih samih.

Moć razdvajanja teleskopa u slučaju fotografisanja zvije-



Fotografija br. 6. 62 cm-ski Cassegrain-Newton teleskop opservatorije u Sarajevu.

zda ograničena je, osim difrakcijom, nepravilnostima u optici teleskopa i atmosferskim uslovima, još i raspršenjem svjetlosti u emulziji i nepravilnim vođenjem teleskopa za vrijeme ekspozicije. Likovi zvijezda na snimcima imaju zato dimenzije mnogo veće od vrijednosti datih izrazom (11).

Zbog svih faktora kojima je uslovljena, moć razdvajanja nekog teleskopa može precizno biti određena samo posmatranjem svake noći dvojnih zvijezda čije je ugaono rastojanje poznato. Osobine nekoliko ovakvih parova mogu se naći u knjizi "Praktična astronomija" od M. Muminovića.

Primjer:

Za teleskop sa $D = 300$ mm i $F = 2063$ mm odnos $\frac{F}{D} = 7$. Pri vizuelnim posmatranjima je ugaoni radius difrakcione slike svega $\gamma = 0.47''$ što je zbog moći razdvajanja oka praktično tačka. Linearni radius zvijezde je $a = 4.7$. Minimalno ugaono rastojanje između dvije zvijezde koje omogućuje da ih razlikujemo kao par je $\Delta \geq 0.4''$. Oko nije u stanju da razdvoji dvije tačke na ugaonom rastojanju manjem od $60''$. Uvećanje pri posmatranju od $U_{gr} = 150$ puta omogućiće nam da par razdvojimo (jer je $0.4'' \cdot 150 = 60''$). Ako su zvijezde dovoljno sjajne, uvećanja 3-4 puta veća od ovog, tj. 450-600 puta će nam dozvoliti da mikrometrom mjerimo udaljenost između članova para. Vidjeli smo ranije da je uvećanje od 600 puta i krajnje moguće uvećanje za ovaj teleskop. Uvećanjem će se proporcionalno uvećavati i linearne dimenzije lika zvijezde. Za povećanje od 600 puta će linearni radius zvijezde biti $2820 \mu = 2.8$ mm, a prečnik 5,5 mm. Adekvatno će biti i slabljenje sjaja zvjezdanog lika.

18. O p t i č k a m o ć t e l e s k o p a

Neka je sjaj nekog objekta označen sa I , sjaj njegovog lika sa I' , a dio upadne svjetlosti koji se izgubi u optičkom sistemu sa k . Tada je

$$I' = (1 - k) I$$

Međutim, nije sjaj lika nebeskog objekta važan za astronoma. Za njega je važnija osvjetljenost mrežnjače oka ili foto-ploče. Optička moć optičkog sistema je odnos sjaja koji daje optički sistem i sjaja koji prima oko.

Optička moć optičkih sistema se razlikuje u slučaju posmatranja tačkastih i netačkastih objekata. Fosmatračemo prvo slučaj tačkastih objekata (zvijezda).

Pri posmatranju zvijezda teleskopom intezitet svjetlosti koja pada u oko biće toliko puta veći nego pri posmatranju golim okom koliko je površina objektiva veća od površine zjenice

$$\frac{1/4 \pi D^2}{1/4 \pi \delta^2} = \left(\frac{D}{\delta} \right)^2 \quad (15)$$

To je optička moć teleskopa. U slučaju tačkastih objekata zavisi isključivo od kvadrata prečnika objektiva D^2 , jer je $\delta = \text{const}$. Kako je površina objektiva proporcionalna intezitetu svjetlosti iz Pogsonovog zakona (vidi "Astronomija"

od M. Muminovića, str. 163) slijedi da je

$$m_2 - m_1 = 5 \log \left(\frac{D}{\delta} \right) \quad (16)$$

gdje je m_2 magnituda zvijezde posmatrane kroz teleskop, a m_1 magnituda zvijezde posmatrane okom. Za teleskop od $D=60\text{mm}$ i za $\delta=6\text{mm}$ vrijedi da je

$$m_2 - m_1 = 5 \log 10 = 5 \text{ magnituda}$$

Ako je golim okom moguće vidjeti zvijezde 6^m , tj. ako je $m_1 = 6^m$, tada je kroz teleskop prečnika objektiva od 6 cm moguće vidjeti zvijezde 11^m .

$$m_2 = 5^m + m_1 = 5^m + 6^m = 11^m$$

Izraz (16) vrijedi u idealnom slučaju kada predpostavljamo da su zvjezdani likovi tačke pri posmatranju teleskopom, što je tačno za manja uvećanja, i da objektivni refraktora i reflektora propuštaju, odnosno odbijaju svu svjetlost koju prime.

Napravimo prvu korekciju uzimajući u obzir gubitke u optici. Neka su gubici u sjaju pri vizuelnim posmatranjima kroz teleskope, refraktore i reflektore 40%. Tada iz relacije $I' = (1-k) I$ uz $k = 0.4$, $1-k = 0.6$ i $\delta = 6 \text{ mm}$ i Pogsonovog zakona slijedi da je granična zvjezdana veličina m_{viz} , uz uslov $U < U'$ (mala uvećanja)

$$m_{\text{viz}} = 6^m \cdot 5 + 2.5 \log \left(0.6 \frac{D^2}{\delta} \right) = 2^m + 5 \log D \text{ (mm)} \quad (17)$$

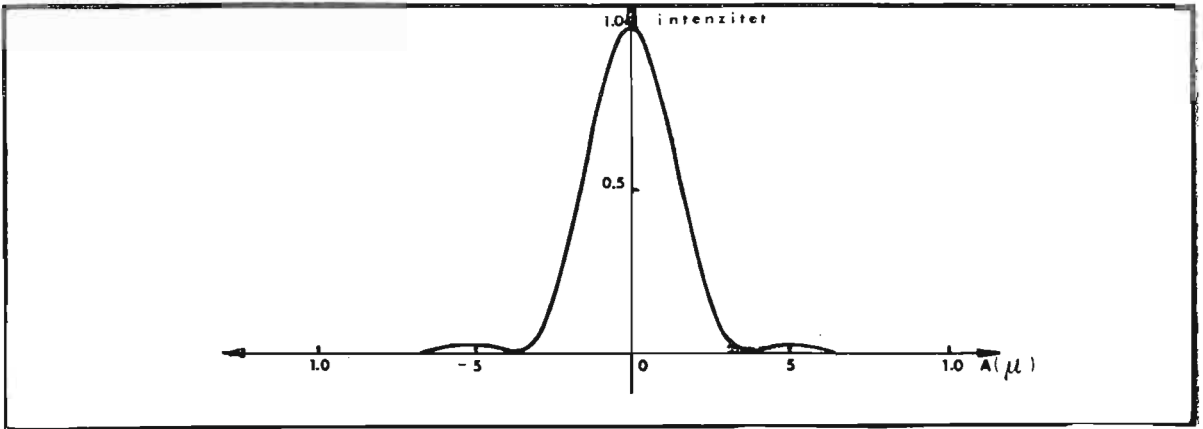
gdje je D izraženo u mm, U korišteno uvećanje, a U' uvećanje pri kojem je vidljiv difrakcioni lik zvijezde.

Napravimo sada drugu korekciju. Šta se dešava pri velikim uvećanjima pri kojima se primjeti difrakcioni lik zvijezde? $U = U'$? Tada se ukupna količina svjetlosti koja čini lik zvijezde razmaže u krug određene površine i zbog toga oslabi. Za uvećanje $U > U'$ gubitak sjaja iznosi $\left(\frac{U}{U'}\right)^2$ puta ili za $5 \log \left(\frac{U}{U'}\right)$ magnituda. Veličinu U' je teško odrediti: ona zavisi od prečnika objektiva, ali i od atmosferskih uslova koji se iz noći u noć mijenjaju. Da li je gubitak svjetlosti pri velikim uvećanjima toliko značajan da ga se mora uzeti u obzir iako je teško odrediti granično uvećanje U' . Nije, jer i fon neba na većem uvećanju toliko oslabi da je u okularu oklina zvijezde crna što olakšava viđenje još slabijih zvijezda. Relaciju (17) koristimo za vrijednost uvećanja U i dobijemo

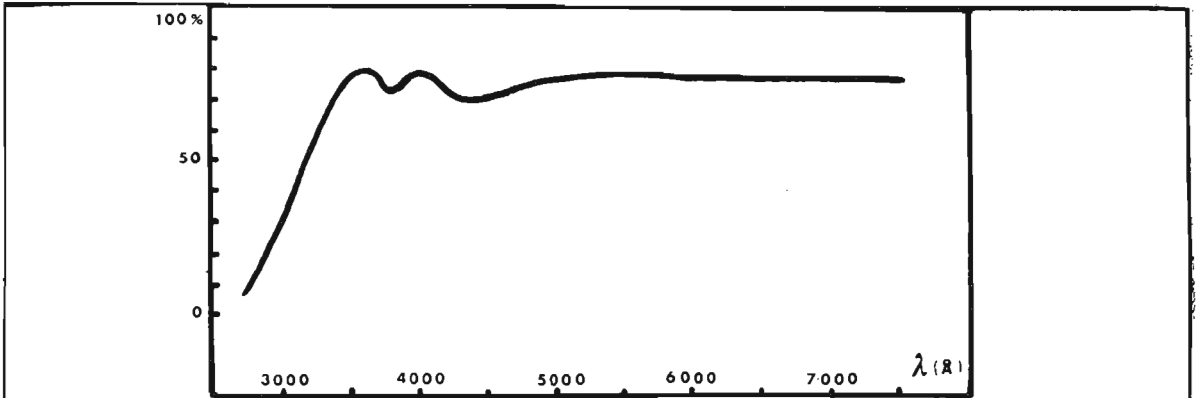
$$m_{\text{viz}} = 3 + 2.5 \log D + 2.5 \log U \quad (18)$$

Razmotrimo problem svjetlosne moći za netačkaste objekte. Recimo da posmatramo neki magličasti objekat ravnomjernog sjaja golim okom. Neka taj objekat na nebu ima ugaoni prečnik od 2α , a na mrežnjači oka $2L$ (mm). neka je prečnik zjenice r_0 (mm).

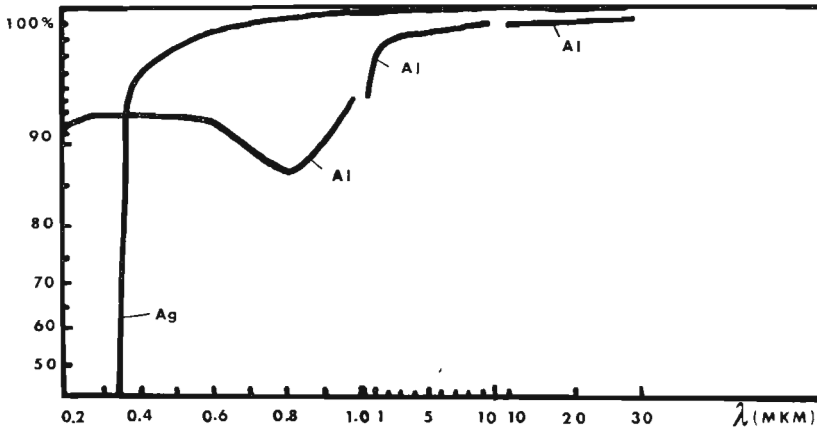
Posmatrajmo taj isti objekat kroz teleskop prečnika objektiva D (mm) sa uvećanjem U . Objektiv teleskopa skuplja $\left(\frac{D}{\delta}\right)^2$ više svjetla od oka.



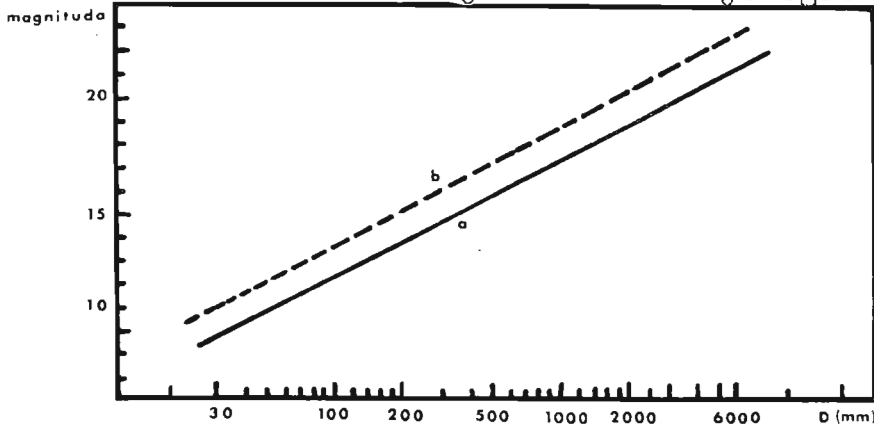
Slika 44. Raspodjela intenziteta svjetlosti u difrakci-
nom liku tačkastog objekta .



Slika 45. Propusnost objektivna refraktora



Slika 46. Koeficijent refleksije ogledala



Slika 47. a) Grafički prikaz relacije (17)

b) Grafički prikaz relacije (18)

Zbog gubitka u optici do oka dolazi samo $(1-k)\left(\frac{D}{\delta}\right)^2$ više svjetla. Oko će objekat vidjeti pod uglom od $2\beta = 2\alpha U$, a linearni prečnik objekta na mrežnjači će sada biti $2L' = 2LU$ (mm). Koncentracija energije na mrežnjači, tj. osvjetljenost mrežnjače, će se smanjiti $\left(\frac{L'}{L}\right)^2 = U^2$ puta. Konačno nalazimo da će se koncentracija energije na mrežnjači, pri posmatranju kroz teleskop, povećati za

$$(1-k) \frac{D^2}{\delta^2} \frac{1}{U^2} = (1-k) \left(\frac{d}{\delta}\right)^2 \text{ puta}$$

Za $d < \delta$, sjaj objekta je slabiji nego pri posmatranju golim okom. Za $d > \delta$, dio svjetlosti ne ide u oko što je jednako posmatranju teleskopom manjeg prečnika. Jedino u slučaju da je $d = \delta$ i da nema gubitka u optici, sjaj objekta bi bio jednak sjaju koji bi primalo golo oko. Teleskop ne može povećati sjaj netačkastog objekta, ali ga može smanjiti koliko god hoćemo puta. Ako je sjaj nekog objekta posmatranog golim okom I , njegov sjaj će, posmatran kroz teleskop, biti

(18)

$$I' = (1-k) \left(\frac{d}{\delta}\right)^2 I = (1-k) \left(\frac{D}{F}\right)^2 \left(\frac{F'}{\delta}\right)^2 = (1-k) \left(\frac{D}{F}\right)^2$$

gdje je $\frac{F'}{F} = 1$ svjetlosna moć oka uzeta za jedinicu.

Optička moć teleskopa za netačkaste objekte ovisi o $\left(\frac{D}{F}\right)^2$. Ako je ovaj sjaj u oblasti maksimalne kontrastne osjetljivosti oka, kontrast će se dobro uočiti. Za sjajne objekte (Mjesec, Venera itd.) možemo koristiti veliko uvećanje bez vidnog gubitka kontrasta.

Pri posmatranju Sunca velikim uvećanjem sjaj je toliki da je oko zasljepljeno i nikakav kontrast nije uočljiv. Zato se koriste filteri koji smanjuju sjaj ili okularna projekcija na zaklon. Magline koje su slabog sjaja treba posmatrati relativno malim uvećanjima. Osjetljivost oka na kontrast raste sa osvjetljenošću mrežnjače. Zato je za posmatranje slabih objekata potrebno uzeti ili teleskop velikog prečnika objektiva ili malo uvećanje. Minimalno uvećanje određeno je sa $U_{\min} = \frac{D}{6}$ gdje je D u mm.

Optička moć teleskopa je, za slučaj netačkastih objekata, kako smo već vidjeli, određena sa $(\frac{D}{F})^2 = A^2$ gdje je A svjetlosna moć teleskopa. Za tačkaste objekte je optička moć određena sa D^2 (relacijom (15)).

Zbog toga su svi teleskopi sa istom svjetlosnom moći jednako efikasni pri posmatranju magličastih objekata. Gdje je onda prednost velikih teleskopa u odnosu na male? Ona je očigledna čim su linearne dimenzije lika približno tačkaste, tj. 20 - 30 μ . Tada je optička moć određena sa D^2 i veliki teleskopi imaju prednost nad malim.

19. G r a n i č n a e k s p o z i c i j a i g r a n i č n a m a g n i t u d a

Fotografska emulzija je osjetljiva na svjetlost kao i mrežnjača oka. Velika razlika između ova dva prijemnika ipak postoji. Osjetljivost oka na svjetlost je fiksna. Fotografska emulzija se izrađuje sa različitom osjetljivošću označenom određenim brojem DIN-a, GOST-a ili ASA.

Što je taj broj veći to je i osjetljivost emulzije veća. Druga bitna razlika je u tome što je fotografska emulzija u stanju da akumulira energiju svjetlosti dugom ekspozicijom i registruje vrlo slabe izvore svjetlosti. Oko to ne može. Postoji i različita osjetljivost oka i fotografske emulzije na boju svjetlosti.

Pri upotrebi fotografije u astronomiji treba ove razlike imati u vidu. Za snimanje objekata koji većinu zračenja emituju u plavoj ili crvenoj oblasti spektra treba koristiti emulzije osjetljive na plavu ili crvenu boju. Zavisno od prividnog sjaja objekta treba podesiti odgovarajuću ekspoziciju i osjetljivost filma. Osim za neke specijalne objekte (Sunce, Mjesec, planete i najsjajnije zvijezde) obično se koriste vrlo duge ekspozicije. Precizno odrediti ekspoziciju nije nikada moguće unaprijed. Ona zavisi od onog što se želi postići, osjetljivosti emulzije, vrste instrumenta koji se koristi, sjaja objekta koji se snima itd. Samo veliko iskustvo u radu sa jednim instrumentom može biti siguran vodič. Orijentaciono se dužina ekspozicije može odrediti na sljedeći način. Najslabije zvijezde koje se mogu snimiti određenim instrumentom i ekspozicijom imaju sjaj dat formulom

$$m_{gr} = -1 + 5 \log D + 2.15 \log t$$

gdje je D u mm, a t dužina ekspozicije u minutama. Ako znamo prividni sjaj objekta koji želimo snimiti iz gornje formule možemo izračunati t . Sigurnije je uzeti nešto nižu vrijednost sjaja (za 1 do 2 magnituda). Pri određivanju ekspozicije korisno je znati graničnu ekspoziciju poslije koje fon neba postaje tamniji od najslabijih registrovanih

zvijezda. Ona je data približnom formulom

$$\log t_{\max} = 0.6 - 2.325 \log \frac{D}{F} \text{ (min)}$$

gdje je $\frac{D}{F} = A$ svjetlosna moć kamere. Da se relativno kratkim ekspozicijama snime slabi objekti konstruisane su specijalne "brze" kamere tipa Schmidt kamera. Njihova svjetlosna moć je velika: obično je $\frac{D}{F} = 1, 2$ ili 3 , čak i manje od 1 . Uz povećanje svjetlosne moći potrebno je povećati i prečnik objektiva kako bi se skupilo više svjetlosti i povećala moć razdvajanja. Granična ekspozicija za kameru sa $A = 1$ je svega 4 minute. Nakon tog vremena fon neba počinje brisati najslabije zvijezde. Ovakvim kamerama je najbolje snimati i magličaste objekte. Svjetlosnu moć teleskopa možemo povećati smanjujući mu, dodatnim sočivima, fokus ili ekvivalentni fokus.

Dužina granične ekspozicije brzo raste sa smanjenjem svjetlosne moći kamere. Za kameru sa $A = 7$, $t_{\max} = 6.2$ sata, a za kameru sa $A = 20$ čak 70 sati.

U blizini gradova ili za vrijeme noći sa mjesecom treba birati manju svjetlosnu moć kako bi se eliminisao fon neba. Tada se obično koristi svjetlosna moć od $A = 8-15$. Detaljnije o astronomskoj fotografiji može se naći u časopisu "Vasiona", 1978, 3-4, 77 i cijelo godište 1979, godine.

20. O k o k a o p r i j e m n i k z r a č e n j a

Pri vizuelnim posmatranjima u astronomiji oko postaje dio posmatračkog pribora te je potrebno, osim poznavanja optičkih osobina teleskopa, poznavati i fiziološke osobine oka.

Optički dio oka je jednostavan i sličan foto-
grafskom aparatu. Tu su iris dijafragma promjenjivog otvora,
sočivo i retina koja je osjetljiva na svjetlost.

Uloga iris dijafragme, koja se nalazi odmah
ispred sočiva, je da reguliše količinu svjetlosti koja ulazi
u oko. Kontroliše je mišić koji joj može mijenjati prečnik
od 1 mm pri jakom osvjetljenju, do 6 mm pri vrlo slabom.
Otvor iris dijafragme je vrlo bitan za vrijeme vizuelnih
posmatranja, jer postavlja ograničenja na uvećanje teleskopa.
Pri ugodnom osvjetljenju prečnik iris dijafragme je 2 mm i
i tada je oštrina slike najveća. Pri manjim otvorima oštri-
na je ograničena difrakcijom, a pri većim aberacijom.

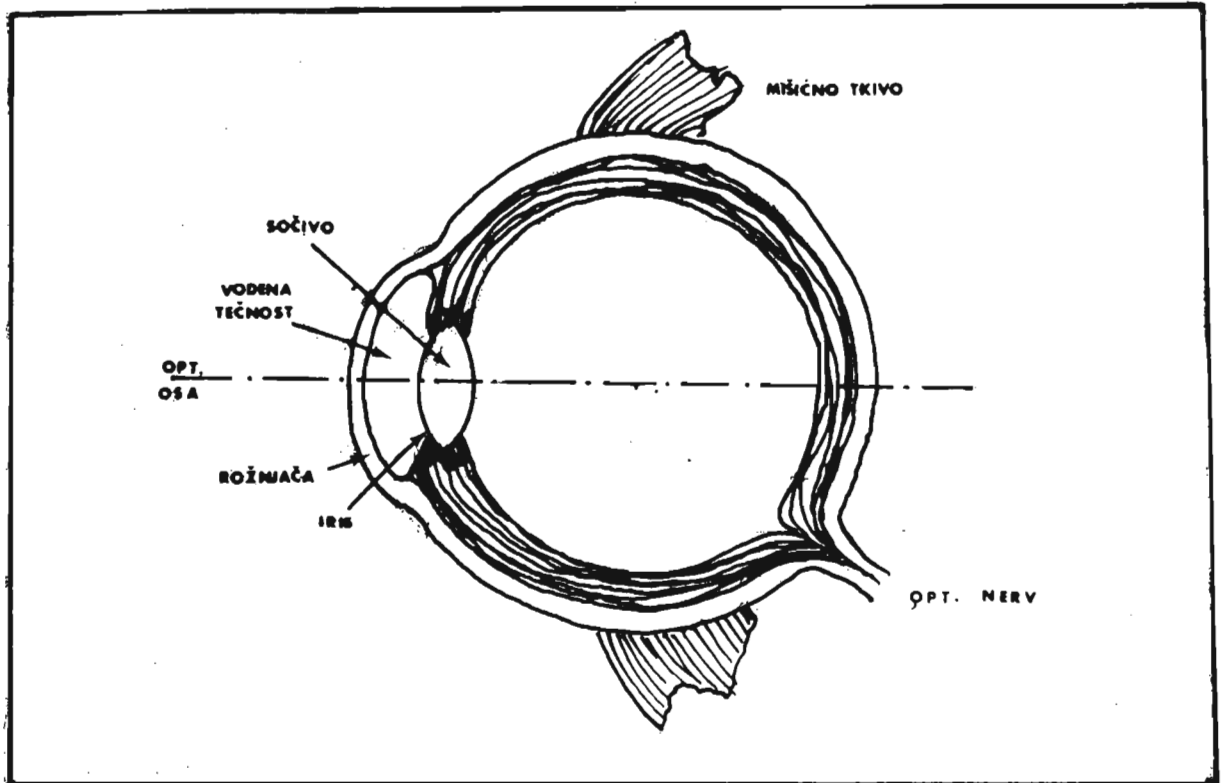
Osim sočiva, optički dio oka čine kornea ili
rožnjača, vodena tečnost i staklasto tijelo. Uloga rožnjače
je da fokusira uglavnom svu svjetlost koja ulazi u oko.
Sočivo je obostrano konveksno i sistemom mišića koji ga
okružuju po rubovima mijenja oblik zbog čega smo u stanju
vidjeti i bliske i udaljene predmete. Kod djece je sočivo
naročito elastično dok sa godinama postaje kruto da bi
konačno imalo fiksni fokus. Vodena tečnost je između sočiva
i rožnjače, a staklasto tijelo između sočiva i mrežnjače.
Obe tečnosti omogućuju sočivu da mijenja oblik.
Mrežnjača ili retina je osjetljiva na svjetlost i optičkim

nervom povezana sa mozgom. Na njoj se formira lik objekta koji gledamo.

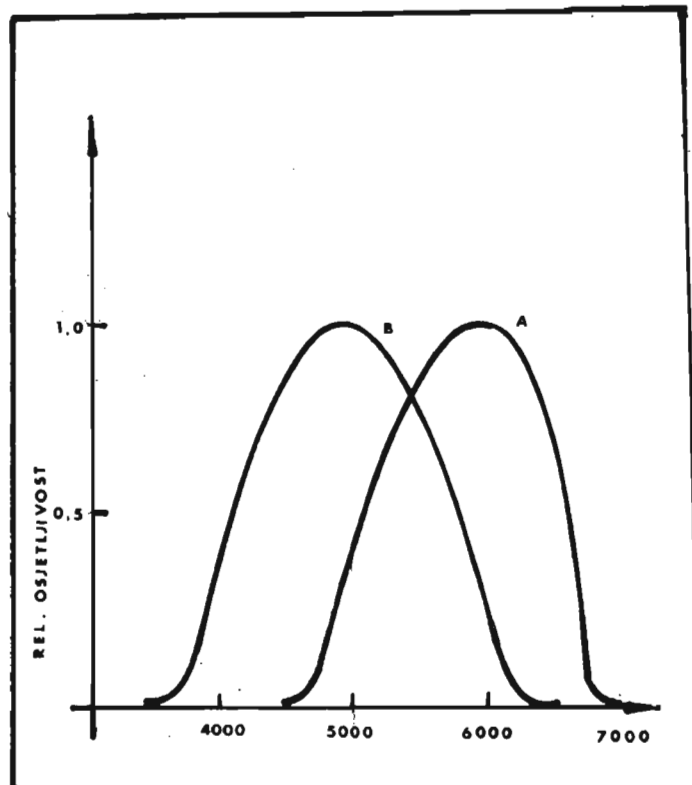
Mrežnjača se sastoji od dva tipa vidnih ćelija: štapića i čepića. Štapići omogućuju vid pri slaboj svjetlosti, a čepići pri punoj svjetlosti. Pomoću čepića se razlikuju i boje. Raspodjela ovih dvaju tipova ćelija nije uniformna na mrežnjači. Čepići su skoro isključivo skoncentrisani u tzv. žutoj mrlji prečnika 0.25 mm, u blizini optičke osi oka i tu je lik najjasniji. Moć razlaganja tog dijela oka je toliko mala da je približno jednako udaljenosti između dva čepića. U ugaonim jedinicama to iznosi jednu lučnu minutu. Zbog toga se npr. disk punog Mjeseca ne može jasno vidjeti bez pomicanja oka po njegovoj površini.

Štapići ne daju tako oštru sliku kao čepići, a i nalaze se van oblasti najjasnijeg vida. Kako su osjetljivi na slabo svijetlo, slabe objekte bolje vidimo ako ne gledamo direktno u njih već malo pored. Funkcionisanje štapića ovisi o jednom derivatu vitamina A zbog čega manjak ovog vitamina slabi vid noću. Ovaj derivat se troši pri jakom svjetlu, a oku treba 30 minuta do jedan sat da se nakon izlaganja jakom svjetlu adaptira na tamu. Za to vrijeme se povraća potrebna količina derivata u štapiće. Ovakav način detekcije svjetlosti omogućuje oku da vidi u rasponu intenziteta osvjetljenja od milijardu puta. Iris dijafragma mu omogućuje da vidi u opsegu od 16 puta. Kada se oko adaptira na tamu potrebno je paziti da se posmatranja ne prekidaju izlaskom na jako svjetlo. Ako je to za vrijeme posmatranja već potrebno da bi se zapisali neki podaci u vezi sa posmatranjem, treba koristiti slabe izvore svjetlosti, a najbolje slabu crvenu svjetlost, zbog Purkinjeovog efekta (vidi niže).

Osjetljivost oka na boje se mijenja sa intenzitetom svjetlosti. Pri normalnom intenzitetu oko je



Slika 48. Presjek ljudskog oka



Slika 49. Spektralna osjetljivost oka

najosjetljivije na svjetlost talasne dužine od 5550 Å. Pri minimalnom osvjetljenju osjetljivost se pomiče na 5100 Å. Zbog toga je noću lakše uočiti plave objekte nego crvene. Ovaj pomak osjetljivosti ka plavom dijelu spektra je poznat kao Purkinjeov efekat. Efekat je značajan samo pri posmatranju netačkastih objekata. U uslovima slabe osvjetljenosti oko ne uočava boje, jer štapići nisu osjetljivi na boje— uočava se samo gradacija u intenzitetu svjetlosti. Prosječan posmatrač kadar je, nakon vježbe, uočiti gradaciju u intenzitetu sjaja od oko 0.05 magnituda. Približno svaki trideseti foton koji pada na ćelije mrežnjače biva registrovan. Kaže se da je kvantna efikasnost oko 3 %. Ona je mnogo veća za detektore koje je čovjek uspio konstruisati.

MIKROMETRI U ASTRONOMIJI

Da bi se precizno odredio položaj nekog nebeskog objekta u odnosu na neki susjedni, koriste se mikrometri. Da bi mjerenje koje na ovaj način vršimo bilo dovoljno precizno, neophodno je da poredbena zvijezda ili drugi referentni objekat bude približno istog sjaja kao i onaj koga mjerimo. Takođe je bitno da su oba dovoljno blizu jedan drugome jer je time tačnost mjerenja veća. Za našu poredbenu zvijezdu neophodno je poznavanje koordinata odnosno rektascenzije i deklinacije. Mikrometrom tada mjerimo razliku između rektascenzije i deklinacije poznatog i nepoznatog objekta i time dolazimo do tačnih podataka o položaju ovoga posljednjeg. Prilikom vađenja podataka iz kataloga potrebno je voditi računa na koju epohu se odnose koordinate koje su date.

Mikrometara ima raznih vrsta. Većina ima namjenu mjerenja koordinata, a mikrometri sa koncem nam omogućavaju da izmjerimo još dvije veličine - pozicioni ugao i ugaono rastojanje dva objekta. Ovakva mjerenja se koriste isključivo za dvojne zvijezde. Postoji matematička veza između razlike koordinata i pozicionog ugla odnosno ugaonog rastojanja. Neka su:

θ - pozicioni ugao nepoznatog objekta u odnosu na poredbenu zvijezdu (to može biti primarna komponenta u dvojnem sistemu).

r - ugaono rastojanje

α, δ - rektascenzija i deklinacija poredbene zvijezde

α', δ' - rektascenzija i deklinacija nepoznatog objekta

$$\Delta\alpha = \alpha - \alpha'$$

$$\Delta\delta = \delta - \delta'$$

$$\delta_0 = \frac{\delta + \delta'}{2}$$

$$\sin \frac{\Delta\alpha}{2} = \sin \frac{r}{2} \sin \theta \sec \delta_0$$

$$\sin \frac{\Delta\delta}{2} = \sin \frac{r}{2} \cos \theta \sec \frac{\Delta\alpha}{2}$$

Ako su mjerni objekti veoma blizu jedan drugom, tada vrijedi aproksimacija:

$$\Delta\alpha = r \sin \theta \sec \delta_0$$

$$\Delta\delta = r \cos \theta$$

Prilikom postavljanja konaca mikrometra ili mrežice na staklu potrebno je imati na umu da lik zvijezde mora da je tačno u ravni tih konaca ili mrežice. Drugim riječima, nitni krst ma kog tipa koji koristimo za mikrometar mora ležati u fokalnoj ravni objektiva. Ako ovaj uslov nije zadovoljen, doći će do paralaktičnog pomjeranja slike zvijezde. Samo pozitivne okulare možemo koristiti sa mikrometrima. Ukoliko bi posmatranja vršili negativnim okularima kakav je recimo Hajegensov, tada bi nitni konci bili vidljivi samo onom lećom koja je bliža oku i razne aberacije bi došle do izražaja. S druge strane, koristeći pozitivan okular kao što je npr. Ramsdenov posmatranje se vrši u čitavom optičkom sistemu okulara.

21. S l e j d o v ili u g r a v i r a n i m i k r o m e t a r

Ovo je jednostavan i dosta tačan mikrometar. Na staklenom disku je ugravirana ortogonalna mreža sa ili bez koncentričnih krugova. Ova staklena diafragma postavljena je u fokusnoj ravni pozitivnog okulara. Ugaono rastojanje pojedinih linija lako odredimo posmatrajući kretanje zvijezde sa poznatom deklinacijom u vidnom polju. Poslije toga možemo koristiti ovakav mikrometar na sljedeći način:

- a/ rotiramo okular sa mrežom dok ne postignemo da su nam oba objekta u svom dnevnom kretanju paralelna sa linijama mreže. Broj kvadratića između te dvije linije u mreži daje nam razliku deklinacije. Vidi sliku 50.
- b/ broj kvadratića i dijelova kvadratića mjenjenih u smjeru dnevnog kretanja naša dva objekta, daje nam razliku rekta-scenzija ($\Delta\alpha$)

Na primjeru našeg crteža imamo sljedeće podatke:

Ako je stranica jednog od kvadratića prečnika $4'$, tada je:

$$\Delta\delta = 18'$$

$$\Delta\alpha = 16' = 1^m 4^s \quad (\text{uz pretpostavku da su nam zvijezde na nebeskom ekvatoru})$$

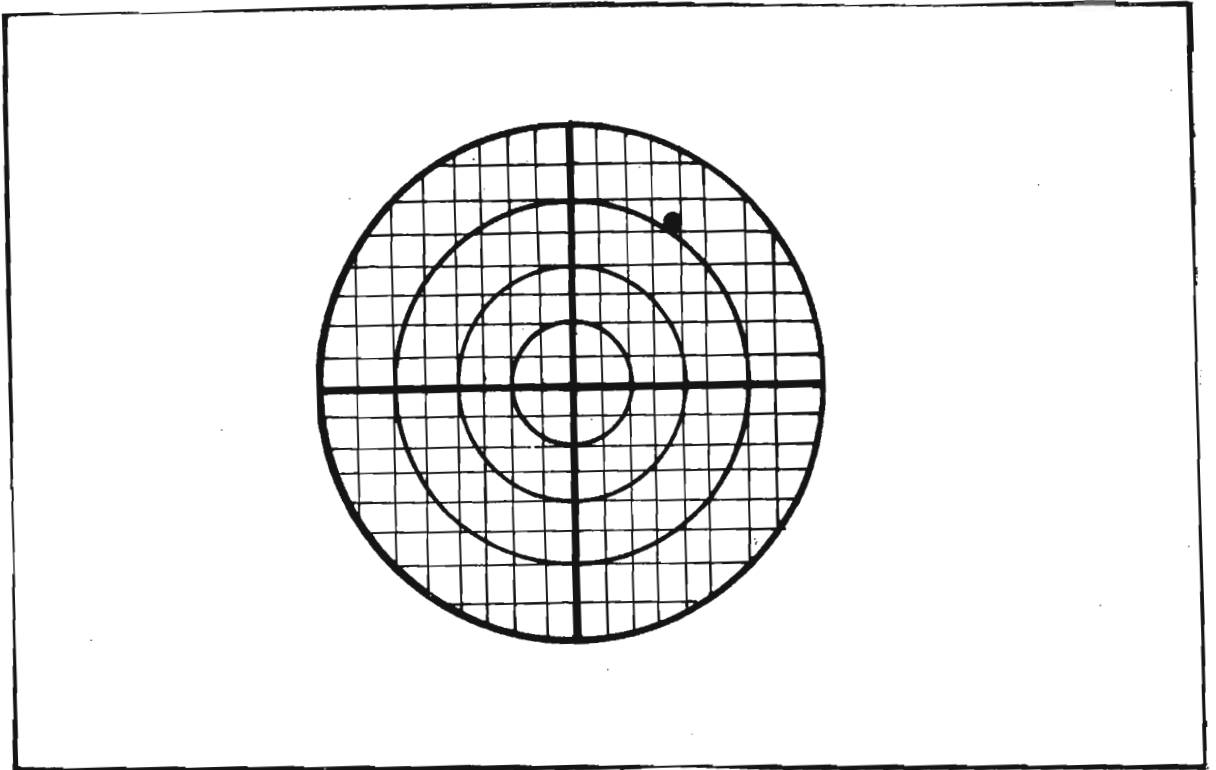
22. P r s t e n a s t i m i k r o m e t a r

Kod ovakvog tipa mikrometra koristi se tanki neprozirni prsten montiran na staklenu diafragmu koja se nalazi u fokusu objektiva teleskopa. (sl. 51).

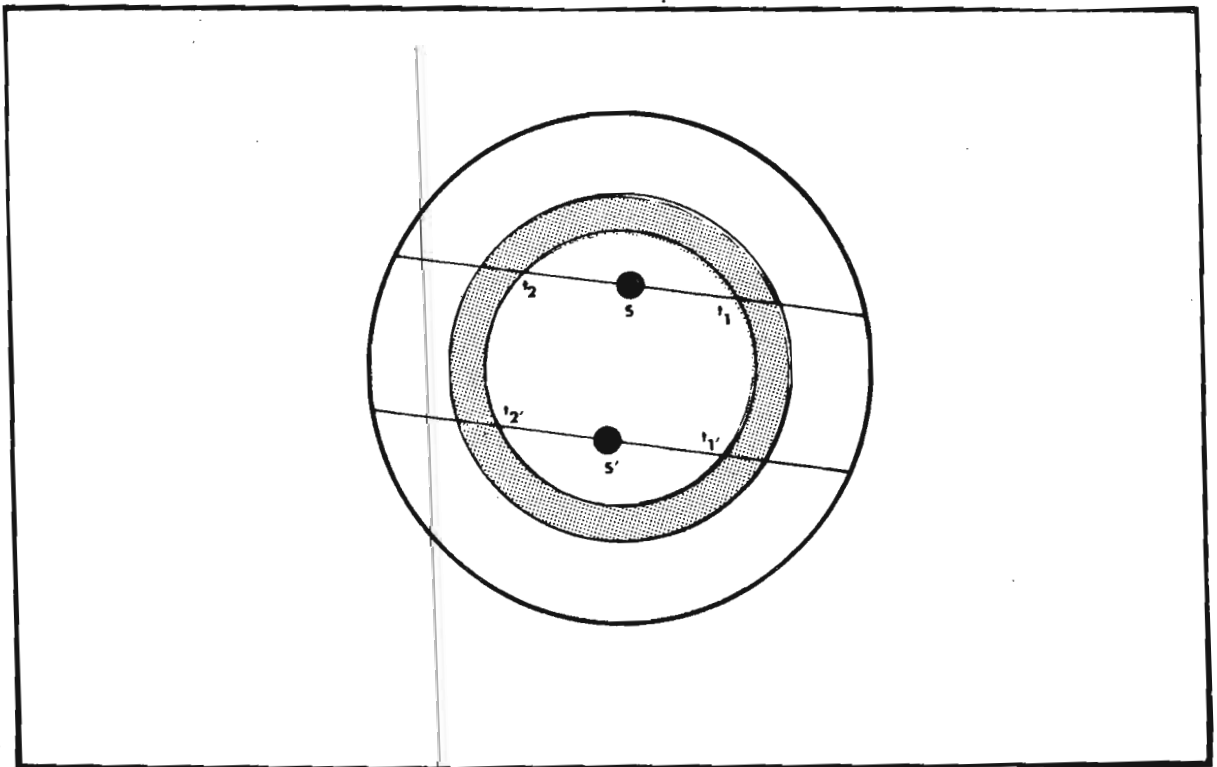
Unutrašnji i vanjski rubovi ovog prstena su koncentrični. Prije nego obavimo bilo kakva mjerenja potrebno je precizno odrediti prečnike unutrašnjeg i vanjskog kruga prstena što je moguće preciznije. To činimo na sljedeći način:

Puštamo zvijezdu poznate deklinacije da se kreće preko središta prstena (dijametrom) i mjerimo vrijeme potrebno da zvijezda pređe sa jednog kraja na drugi. Takvih mjerenja izvršimo veći broj i nađemo srednju vrijednost. Zatim vrijeme pretvorimo u ugaone minute i sekunde prema poznatim formulama. Polovina od dobijene vrijednosti predstavlja radius R . Obzirom da tačan položaj dijametra našeg prstena možemo određivati samo procjenjivanjem, to nismo nikada sigurni da li nam se zvijezda kretala po diametru ili po nekoj od tetiva. Zato ova metoda ima aproksimativnu vrijednost. Ako želimo da sve ovo sprovedemo mnogo tačnije onda postupamo na sljedeći način:

Izaberemo dvije zvijezde koje su blizu meridijana (time se izbjegava uticaj refrakcije u atmosferi). Njihove deklinacije znamo iz kataloga. Najbolje je potražiti kakav sjajniji rasijani skup (npr. Plejade) u kome ima dovoljan broj parova zvijezda koje su blizu jedna druge da obje mogu stati unutar našeg prstena. Posmatramo sliku . Dvije zvijezde S i S' prelaze kroz vidno polje teleskopa. t_1 i t_2 su trenutci u zvjezdanom vremenu



Slika 50.



Slika 51.

kada zvijezda S dodirne jedan i drugi kraj unutrašnjeg kruga, a t_1' i t_2' su odgovarajuća vremena za S'. Pri tome zvijezda S ima koordinate α i δ , a S' (α' , δ')

Unutrašnji radius R prstena može se odrediti na sljedeći način:

$$R = \frac{\Delta\delta}{2 \sqrt{\cos A \cos B}}$$

gdje A i B određujemo iz:

$$\tan A = \frac{7.5 (t_2' - t_1') \cos \delta' + 7.5 (t_2 - t_1) \cos \delta}{\Delta\delta}$$

$$\tan B = \frac{7.5 (t_2' - t_1') \cos \delta' - 7.5 (t_2 - t_1) \cos \delta}{\Delta\delta}$$

POŽELJNO je obaviti najmanje pet mjerenja i izvesti srednju vrijednost. Istu proceduru može sprovesti za mjerenje vanjskog radiusa ukoliko i njega koristimo prilikom mjerenja.

Sada kada poznajemo karakteristike našeg prstena možemo pristupiti mjerenju razlika rektascenzija i deklinacija nepoznatog objekta i neke poznate zvijezde. Puštamo oba objekta da prelaze preko prstena u svom dnevnom kretanju tako da su oba što je moguće dalje od centra. (Neka je jedna zvijezda npr. južno, a druga sjeverno od centra). Učvrstimo teleskop i mjerimo vrijeme prolaza za svaki od objekata.

Dobijemo četiri vremena.

Vrijeme prolaska kroz centar prstena zvijezde $S = \frac{1}{2}(t_1+t_2)$

Vrijeme prolaska kroz centar prstena zvijezde $S' = \frac{1}{2}(t_1'+t_2')$

Iz ovoga slijedi:

$$\Delta\alpha = \frac{t_1'+t_2'}{2} - \frac{t_1+t_2}{2}$$

Ako koristimo određivanje trenutaka pojavljivanja i nestajanja zvijezda na oba kruga prstena (vanjskom i unutrašnjem) poboljšaćemo kvalitet mjerenja. I u ovom slučaju poželjno je obaviti nekoliko mjerenja i uzeti srednju vrijednost.

Razliku deklinacija određujemo sljedećim formulama:

$$d = R \cos \gamma$$

$$d' = R \cos \gamma'$$

γ i γ' su:

$$\sin \gamma = \frac{t_2 - t_1}{\frac{R}{15} \sec \delta}$$

$$\sin \gamma' = \frac{t_2' - t_1'}{\frac{R}{15} \sec \delta'}$$

Obzirom da nam je poznata deklinacija samo jednog od objekata (δ), to u ovom koraku pretpostavljamo da su δ i δ' jednaki. Konačno razlika deklinacija je:

$$\Delta\delta = d \pm d'$$

Ako su obje zvijezde na suprotnim stranama od centra prstena tada ćemo imati znak +. U suprotnom slučaju, kada su sa jedne strane, uzimamo znak -. Zatim možemo poboljšati mjerenje uvodeći drugu aproksimaciju da je $\delta' = \delta \pm \Delta\delta$. To unosimo u jednačinu za $\sin \gamma'$ i time nam ona postaje tačnija.

Vremena prelaza mogu se mjeriti štopericom, hronografom ili nekim drugim preciznim uređajem. Što se tiče konstrukcije prstena ona se može izvršiti na jednostavan način. Nacrta se prsten prečnika recimo 15 cm crnim tušem i zatim fotografski smanji na staklenu foto-ploču. Prečnik mu zavisi od fokusa objektiva i okulara ali se pokazuje da je najčešće u granicama između 12 i 18 mm. Zatim se ta pločica montira u fokusu pozitivnog okulara. Sa druge strane moguće je prsten napraviti precizno od metala i zatim ga zalijepiti na staklo.

23. M i k r o m e t a r s a p r e s j e č e n i m k r s t o m

Sastoji se od dvije deblje uzajamno normalne niti i jedne tanje koja ih presjeca pod jednakim uglovima (vidi sliku 52). Konstrukcija je jednostavna ali se ne može koristiti sa azimutski montiranim teleskopima. Deblje niti se mogu napraviti od žice za osigurače (10 Amp), a treća nit takođe od takve žice ali tanje. Sve tri se mogu zalemiti na mesingani prsten prečnika 25 mm. Da bi smo precizno postavili sve tri žice potrebno je napraviti izdjeljen krug na

papiru i na osnovu ucrtanih stepeni možemo lako da napravimo naš presječeni krst.

Puštamo zvijezde da se kreću paralelno sa najtanjom niti u svom dnevnom kretanju. Označene su na našem crtežu sa S i S'. Zabilježimo četiri vremenska trenutka t_1, t_2, t'_1, t'_2 . Tada su:

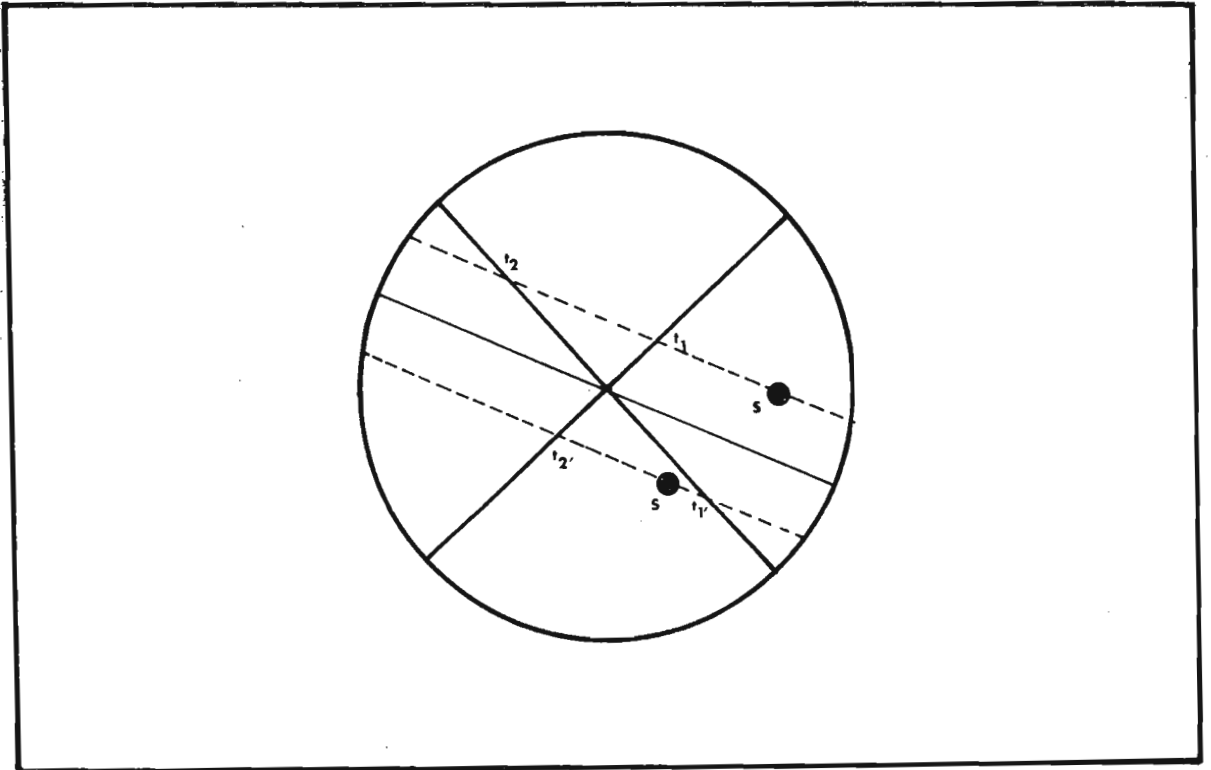
$$\Delta\alpha = \frac{t_1+t_2}{2} - \frac{t'_1+t'_2}{2}$$

$$\Delta\delta = -\frac{1}{2} \left[(t_2-t_1) + (t'_2-t'_1) \right] 15\cos\delta$$

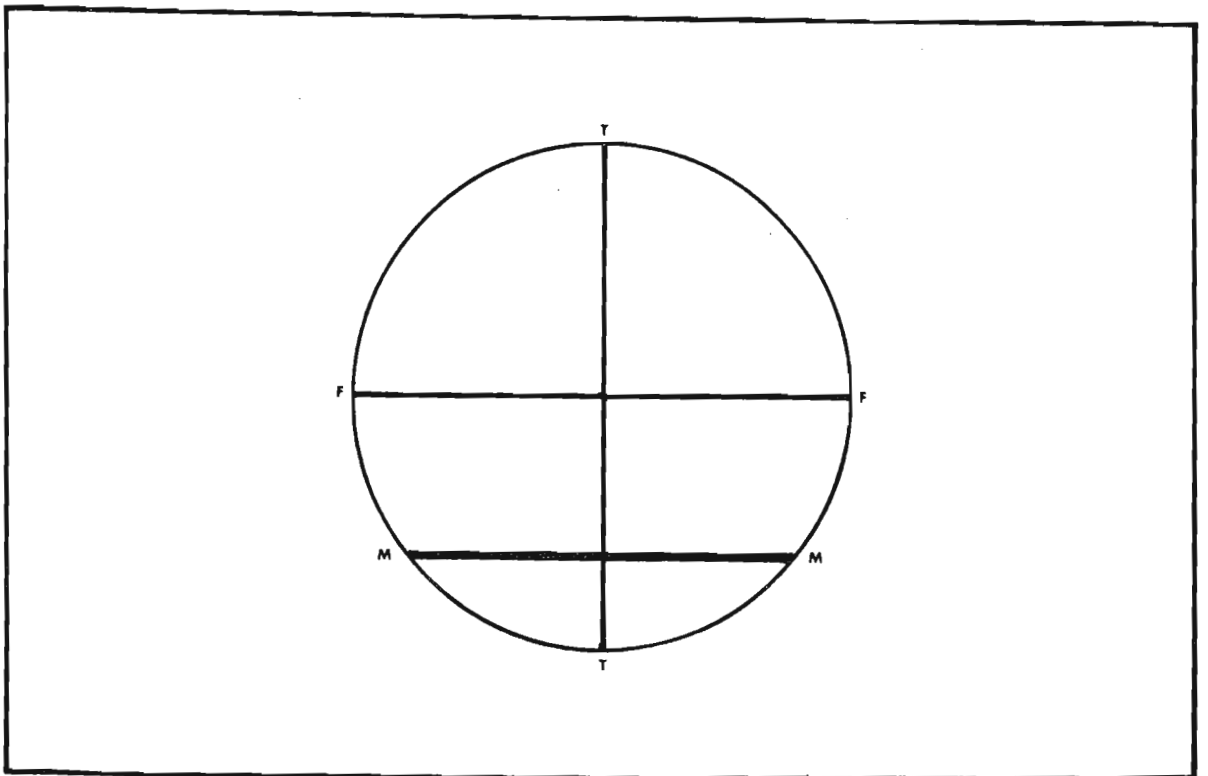
Pri tome je rektascenzija u sekundama vremena, a deklinacija u lučnim sekundama.

24. Mikrometar sa koncima

Ovaj tip mikrometra sadrži u sebi niti od kojih je jedna ili više njih pokretna. Sve je smješteno u fokusnoj ravni i posmatra se nekim pozitivnim okularom. Pomična nit se pomjera zavrtnjem čija je glava kalibrisana nekom podjelom u stepenima ili stotim djelovima stepena. Na slici 53. prikazano je vidno polje jednog ovakvog mikrometra. TT je tranzitna nit, FF je fiksirana nit, a MM je pomična i može se pri obrtanju zavrtnja kretati duž TT ostajući pri tome paralelna sa FF. U slučajevima kada želimo postići veću preciznost, koristimo umjesto TT čitavu mrežu vertikalnih niti.



Slika 52.



Slika 53.

Obično se čitav mikrometar može rotirati oko optičke ose i njegova trenutna orijentacija može se očitati na izgraviranom prstenu oko koga se okreće. Ponekad se uvodi i druga nit koja se kreće paralelno sa TT ili se umjesto jedne pomične MM uvedu dvije koje se kreću duž TT.

Prednosti ovakvog mikrometra su u činjenici da je veoma precizan i da omogućava sprovođenje nekoliko vrsta mjerenja. Međutim, teško ga je praviti dovoljno preciznog u amaterskim uslovima. On mora posjedovati posebno osvjetljenje da bi se niti vidjele na pozadini neba.

25. N e k i p r a k t i č n i p r o b l e m i i z r a d e m i k r o m e t a r a

Jedan od bitnih činilaca za uspješnu upotrebu mikrometra je vidljivost niti koje on sadrži. To osvjetljavanje vidnog polja može se izvesti na tri osnovna načina:

- a/ niti su tamne na osvjetljenom polju
- b/ niti su osvjetljene i sjajnije od tamne pozadine
- c/ niti su tamne i polje iza njih je takođe tamno

Kada se radi o sjajnijim zvijezdama tada je metoda (a) veoma pogodna. Kada su zvijezde slabog sjaja tada ovaj način nije prihvatljiv. Pokazuje se u praksi da uvođenjem crvene svjetlosti za osvjetljenje vidnog polja, možemo ići sa još slabijim zvijezdama od limita za ovaj tip osvjetljavanja. Osvjetljenje se može izvesti stavljanjem male sijalice direktno u tubus. Poželjno je da ona bude usmjerena na bijeli ekran koji je rasipa ka okularu i čini difuznom.

Veoma je važno da je sijalica povezana sa nekim reostatom tako da se intenzitet svjetlosti može mijenjati.

Metoda (b) je nešto pogodnija za slabe zvijezde. U njoj se direktno vrši osvjetljavanje niti i to tako da se izbjegne padanje svjetlosti na okular ili objektiv. Sijalica je postavljena u ravni niti. Ukoliko se želi postići veća preciznost i eliminisati jednu od sistematskih grešaka, tada se vrši podešavanje boje osvjetljenja. Ono treba da je što sličnije boji posmatrane zvijezde.

Metodom (c) posmatramo vrlo slabe zvijezde koje bi u oba prethodna slučaja bilo nemoguće posmatrati. Paukove niti su veoma tanke i praktično ih je nemoguće vidjeti ako one ili polje nije osvjetljeno. Zato se za ovaj način koriste metalne niti koje su deblje. Ova metoda je inače najmanje tačna.

Što se tiče materijala koji se koristi za niti oni moraju da posjeduju sljedeće karakteristike:

- a/ oštrinu i jasnoću
- b/ konstantnu debljinu
- c/ elastičnost i čvrstoću

Od svih isprobanih materijala paukove niti su se pokazale najboljim. Prečnik im je svega nekoliko mikrona, veoma su pravilne cijelom dužinom i dovoljno elastične. Metalne i staklene niti imaju nešto slabije karakteristike. neki mikrometri sadrže staklene pločice na kojima su linije urezane pomoću dijamanta.

Gotovo sve vrste paukova mogu da posluže u pogledu niti. No, pokazuje se da je najpogodnija vrsta vrtni pauk "epcira diademata".

Pauka pustimo iz neke kutije da pada ka zemlji. On će momentalno početi da ispušta nit koja će ostati zakačena za kraj kutije. Na ranije pripremljene rašlje u obliku slova Y namotamo niti tako da je svaka sljedeća dovoljno odvojena od prethodne. Pri tome je razmak između krakova naših rašlji znatno veći od prečnika prstena u kome će niti stajati u mikrometru.

ATMOSFERSKI USLOVI ASTRONOMSKIH POSMATRANJA

26. Sastav atmosfere i njene propusne karakteristike

Između nas i svemira, kao neka vrsta neugodnog posrednika, smještena je zemljina atmosfera. Taj prozirni sloj u priličnoj mjeri utiče na astronomska posmatranja i zato je neophodno upoznati njegove osnovne karakteristike. Hemijski gledano, atmosfera se sastoji uglavnom iz:

Azot.....	75,48 %
Kiseonik.....	23,18 %
Ugljen dioksid..	0,045 %
Argon.....	1,29 %
Vodonik.....	0,005 %
Helijum.....	0,005 %
Neon.....	0,005 %
Kripton.....	0,005 %
Ksenon.....	0,005 %
Ozon.....	0,005 %

Srednja vrijednost pritiska na morskom nivou iznosi oko 1013,2 milibara ili 760 mm živinog stuba.

Vidljivost nekog nebeskog objekta direktno zavisi od dužine puta koji njegova svjetlost pređe u atmosferi. Ako sa h označimo efektivnu vertikalnu debljinu atmosfere iznad posmatrača, tada se dužina puta koji svjetlost

zvijezde čija je zenitna daljina z , pređe kroz atmosferu, izračunava relacijom:

$$l = h \sec z$$

Ovo je aproksimativna formula koja važi za z manje od 75° . Ako uvažimo činjenicu da je uticaj atmosfere iznad 18 kilometara zanemarljivo mali, tada možemo doći do sljedeće tabele:

Zenitna daljina	Dužina puta svjetlosti
0°	18 kilometara
45°	25 "-
55°	30 "-
65°	42 "-
75°	72 "-
80°	106 "-
85°	200 "-

Iz prethodne tabele je jasno da je veoma važno ma koji objekt posmatrati što bliže tački njegove gornje kulminacije jer je tada atmosferski sloj kroz koji gledamo najtanji.

27. A t m o s f e r s k a v l a Ź n o s t

"Mokrina" atmosfere može se izraziti relacijom:

Količina vodene pare u jedinici volumena vremena

Količina vodene pare potrebna da dođe do zasićenja

Obično se vlažnost izražava u procentima. Moguće ju je direktno mjeriti higrometrom ili higrografom. Relativna vlažnost je pod normalnim okolnostima maksimalna tokom noći, a minimalna oko podneva.

28. R o s a

Ako temperatura nekog volumena vazduha opada, tada je i količina vodene pare koja je potrebna da dođe do zasićenja, takođe u opadanju. Prema tome, da bi došlo do zasićenja vazduha vodenom parom potrebno je ili da se dovodi još vodene pare ili da se taj vazduh hladi. Temperatura na kojoj data zapremina vazduha postaje zasićena naziva se tačka rošenja ili rosište. Ako se vazduh hladi ispod tačke rošenja tada se voda kondenzuje u obliku rose. U astronomskoj praksi rosa se često pojavljuje na staklu objektiva ili okulara što uzrokuje probleme.

29. A s t r o n o m s k o "v i đ e n j e"

"Viđenje" je kvalitet teleskopske slikeⁱ direktno zavisi od atmosferskih uslova. Atmosferska turbulencija (kretanje toplijih i hladnih masa vazduha u atmosferi) uzrokuje pojavu "nemirne" slike neke zvijezde. To se posebno održava na teleskope malih prečnika. Sa povećanjem prečnika teleskopa, ova pojava se može djelimično ublažiti. Treperenje koje primjećujemo kada zvijezde gledamo golim okom, izazvano je različitim prelamanjem svjetlosti u zemljinoj

atmosferi odnosno nejednakom refrakcijom. Kada su zvijezde niže nad horizontom moguće je primjetiti hromatsko trepenje (npr. Siriusovo raznobojno žmirkanje). Dobro "viđenje" je karakterisano mirnim i oštrim zvjezdanim likovima u teleskopu. Pri tome ne dolazi do zamućivanja, skokova, pulsiranja i drugih efekata lošeg "viđenja". Sa povećanjem nadmorske visine kvalitet atmosfere raste i slike u teleskopu su jasno, bolje.

Moguće je posmatranjem neke zvijezde pod većim uvećanjem (za 10 cm teleskop 600 puta, za 15 cm 900 puta, za 200 m teleskop 1200 puta), doći do podataka o kvalitetu slike odnosno "viđenja". Pri takvim uvećanjima zvijezda se sastoji od diska i difrakcionih prstenova koji je okružuju.

a/ Veoma loše "viđenje"

1. Disk zvijezde i prstenovi nerazdvojeni; slika dva puta veća od stvarne difrakcione mrlje za taj teleskop
2. Disk i prstenovi nerazdvojeni; slika povremeno dva puta veća od stvarne difrakcione slike
3. Disk i prstenovi nerazdvojeni; slika uvećana ali sjajnija u središtu

b/ Loše "viđenje"

4. Disk češće vidljiv; takođe povremeno i kraći lukovi prstenova
5. Disk svo vrijeme vidljiv; kraći lukovi difrakcionih prstenova vidljivo pola vremena posmatranja

c/ Dobro "viđenje"

6. Disk svo vrijeme vidljiv; ali nije oštro definisanih rubova, kratki lukovi prstenova vidljivi čitavo vrijeme

7. Disk povremeno oštrije vidljiv; prstenovi se razlikuju od njega

d/ Odlično "viđenje"

8. Disk svo vrijeme oštro definisanih rubova; unutrašnji prsten u stalnom kretanju

9. Disk veoma oštar; unutrašnji prsten nepomičan

e/ Perfektno "viđenje"

10. Disk zvijezde svo vrijeme oštar; svi prstenovi nepomični.

Ova skala od 10 stepeni omogućava da pratimo iz noći u noć kvalitet astronomskog viđenja na nekoj tački. Pogodno je da posmatrana zvijezda bude oko prve veličine.

30. F i l t e r i

Postoje dva osnovna razloga zbog kojih upotrebljavamo filtere u astronomiji. Jedan od njih je smanjenje blještavog sjaja nekog objekta posmatranog većim prečnicima teleskopa pri malim uvećanjima. Drugi je poboljšanje definicije i poboljšanje tonalnog kontrasta i izdvajanje pojedinih boja. Za prvi razlog upotrebe najbolji je izbor neutralnog filtera iako bilo koji filter u boji može da posluži.

Obzirom da svaki filter propušta određeni dio spektra, to njihovo uvođenje omogućava uočavanje raznih detalja na planetarnim diskovima, otklanja pojavu sekundarnih spektara u refraktorima i sl. Kada se radi o maglinama i oblacima kosmičke materije i gasova, upotreba filtera omogućava dobijanje

jasnih detalja (pri snimanju ili vizuelnom posmatranju) i povišenju kontrasta.

Neutralne filtere raznih gustina možemo dobiti eksponiramo li film ili foto-ploču i pri tome uzimamo razne dužine vremena osvjetljavanja. Desetak takvih komadića filma možemo staviti između staklenih pločica postavljenih u kružne otvore na jednom disku od mesinga ili aluminijuma. Taj disk postavimo tako da se u tubusu može okretati ispred okulara i tako biramo željenu gradaciju neutralnog filtera. Vidi sliku 54.

Umjesto neutralnih, u ovakav disk mogu se postaviti i kolor filteri. Mnoge firme (Kodak Wratten, Carl Zeiss itd.) proizvode kolor filtere najrazličitijih propusnih opsega. Ako je I_0 intenzitet svjetlosti koja pada na filter, a I intenzitet koji izlazi nakon prolaza kroz njega, tada propusnost filtera karakterišemo kao:

$$T = 100 \frac{I}{I_0}$$

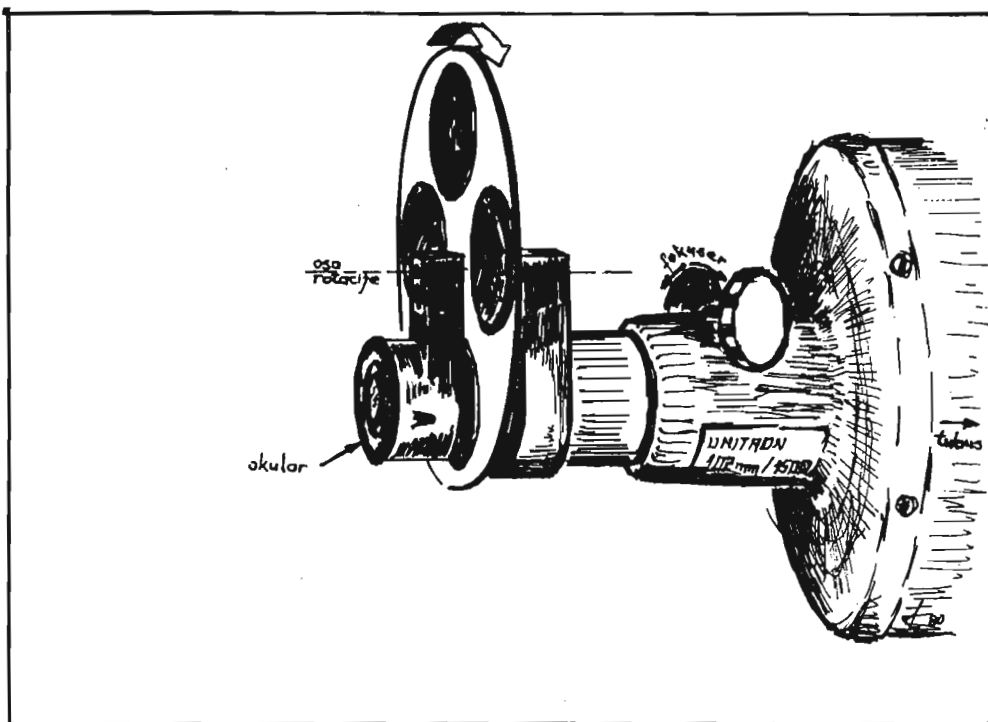
Gustina filtera (D) određuje se izrazom:

$$D = \log \frac{I_0}{I}$$

ili

$$D = \log \frac{1}{T}$$

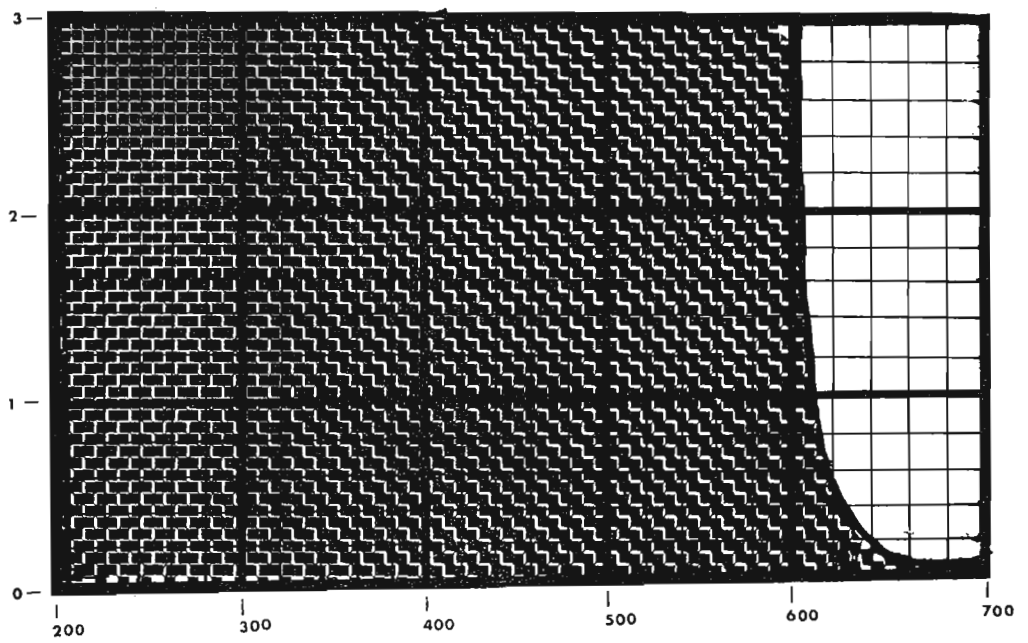
Većina filtera koji se koriste u nauci, a astronomiji posebno, pripreme se pomoću organskih boja.



Slika 54. Prikaz rotacionih filtera

Boje dobijene na različite načine, mnoge se specijalno sintetizuju. Boja pomiješana sa želatinskom masom nanosi se u tankom sloju na staklo. Kada se osuši skida se i prevlači zaštitnim lakom. Ovakav tanki želatinski filter je vrlo osjetljiv na mehaničke, toplotne i druge uticaje. Boje koje se koriste u filterima vremenom se mijenjaju, pa je stoga njihov vijek trajanja ograničen.

Prilikom upotrebe filter treba uzimati rukom samo za rubove. Mora da je uvijek smješten između dva čista papira na suhom i hladnom mjestu. Vlaga mu mijenja karakteristike. Filter se može zalijepiti specijalnim ljepilom između dva stakla i takav je znatno otporniji ali nastupaju problemi u vezi njegove spektralne propustljivosti koja može da bude promjenjena jer staklo upija neke talasne dužine.



Propusnost filtera
Wratten br. 29



Fotografija br. 7. Maglina Rozeta snimljena kroz filter Wratten br. 29 koji propušta uski dio crvenog dijela spektra.



Fotografija br. 8. Ista maglina snimljena bez filtera.

OPIS MJESEČEVE POVRŠINE

31. F a z a t a n k o g s r p a

Za one koji se još uvijek ograničavaju na posmatranja samo golim okom, interesantno je da pokušaju ustanoviti koliko najranije mogu opaziti tanki srp Mjeseca na zapadnom horizontu. Ta vidljivost se mijenja u toku godine i najbolji su uslovi uproljeće kada se Mjesec pojavljuje pod najvećim uglom u odnosu na horizont. Neki posmatrači su opazili Mjesec kada je bio star svega 16 časova, pa i manje. Upotreba malog durbina olakšava ova- kva posmatranja.

32. T r i d a n a p o s l i j e M l a d o g M j e s e c a

Najuočljiviji oblik kod ove faze Mjeseca je svakako poznato More Kriza /Mare Crisium/. Spada među 11 "mora" sa prečnikom od oko 600 kilometara. Okruženo je planinsko-kraterskom zonom, a u samom moru smješteni su neki manji krateri kao Picard, Pierce i Graham. Na jugo- zapadnom dijelu Mare Crisium zapažaju se bijele zraka- ste strukture.

U ovoj srpastoj fazi opažaju se i neki dije- lovi rubnih "mora" koji se najjasnije vide pri zapadnoj libraciji Mjeseca.

To su Mare Australe, Smythii, Marginis i Humboldtianum. Svojim većim dijelom ona zalaze za nevidljivu stranu Mjeseca. Daleko na jugu zapaža se krater Furnerius čiji se zidovi dižu na visinu od preko 3300 metara. Sjeverno je predivni Petavius sa centralnim brdom prečnika 180 kilometara. Krater Vendelinus je prilično narušen, a četvrti u nizu je Langrenus sa dimenzijama od 130 kilometara. Eliptičan izgled ovih kratera u našem teleskopu dolazi otuda što ih posmatramo "sa strane" jer su inače približno kružnog oblika.

Blizu sjevernog pola Mjeseca smješten je krater Endymion čije je dno neobično tamno i mijenja ton sa porastom starosti Mjeseca. Ta stvar se dešava kod još nekih kratera pa ih je zato interesantno posmatrati. U ovo vrijeme još je vidljiva pepeljasta svjetlost odnosno efekat osvjetljavanja noćne strane Mjeseca Zemljinom svjetlošću. U teleskopu se opažaju neke karakteristične tamne i svijetle zone zatamnjene strane.

33. P e t i d a n

Mare Foecunditatis ili More Plodnosti pojavljuje se u svom punom sjaju. Veoma je uočljiv par kratera Messier i Pickering koji leže blisko jedan drugom u središtu ove ravnice. Pad svjetlosti u razno vrijeme dovodi do promjena u vidljivosti kratera pa čas jedan izgleda veći i dublji, a čas se to dešava sa drugim. Mare Nectaris /More Nekata/ nalazi se nešto istočnije od More Plodnosti i karakteristično je po lancu kratera Caterina, Cyrillus i Theophilus. Kod ovog posljednjeg zidovi se terasasto dižu iznad 5000 metara. ovakvi lanci kratera kakvih ima još

mного na površini našeg susjeda svjedoče o nesumnjivom vulkanskom porijeklu velikih kratera. Udari meteorita su pak mogli proizvesti mnoge od malih kratera i neravnina na tlu ovog mrtvog svijeta.

Mare Tanquilitatis ili More Tišine takođe nam je vidljivo u ovoj fazi, a kod njega se naročito ističe krater Posidonius prečnika 110 km. U njegovoj unutrašnjosti ima dosta zanimljivih detalja. Sjeverno se ističu krateri Atlas i Hercules. Ovaj prvi ima dno čiji se tonalitet mjenja sa promjenom osvjetljenosti Mjeseca.

34. P r v a Č e t v r t

U ovoj fazi srebreno-crni svijet Mjeseca je veoma upečatljiv. Terminator /linija koja odvajava noć i dan na Mjesecu/ pruža se poput noža, a južna hemisfera je prepuna kratera. Krater Stofler u svom jugozapadnom dijelu ima mali krater Faraday, a Hipparchus sa niskim zidovima biće gotovo nevidljiv u vrijeme Punog Mjeseca kada za njega bude podne dugog Mjesečevog dana.

More pare ili Mare Vaporum nije previše uočljivo. Nalazi se oko središta diska, a u njemu je smješten jedan veoma poznati objekat. To je krater Hyginus koji se nalazi u sredini veoma zanimljive tvorevine- pukotine dugačke oko 270 kilometara. Pukotina je široka oko 2 kilometra ali je lako vidljiva u teleskopu od 75 milimetara prečnika. Vidljivost omogućava činjenica da je ona uočljivo svjetlija od svoje okoline. Inače, astronomi ovu pukotinu nazivaju Hyginusova pukotina. U velikim teleskopima se vidi da je ona ustvari građena od niza malih "kraterastih" struktura.

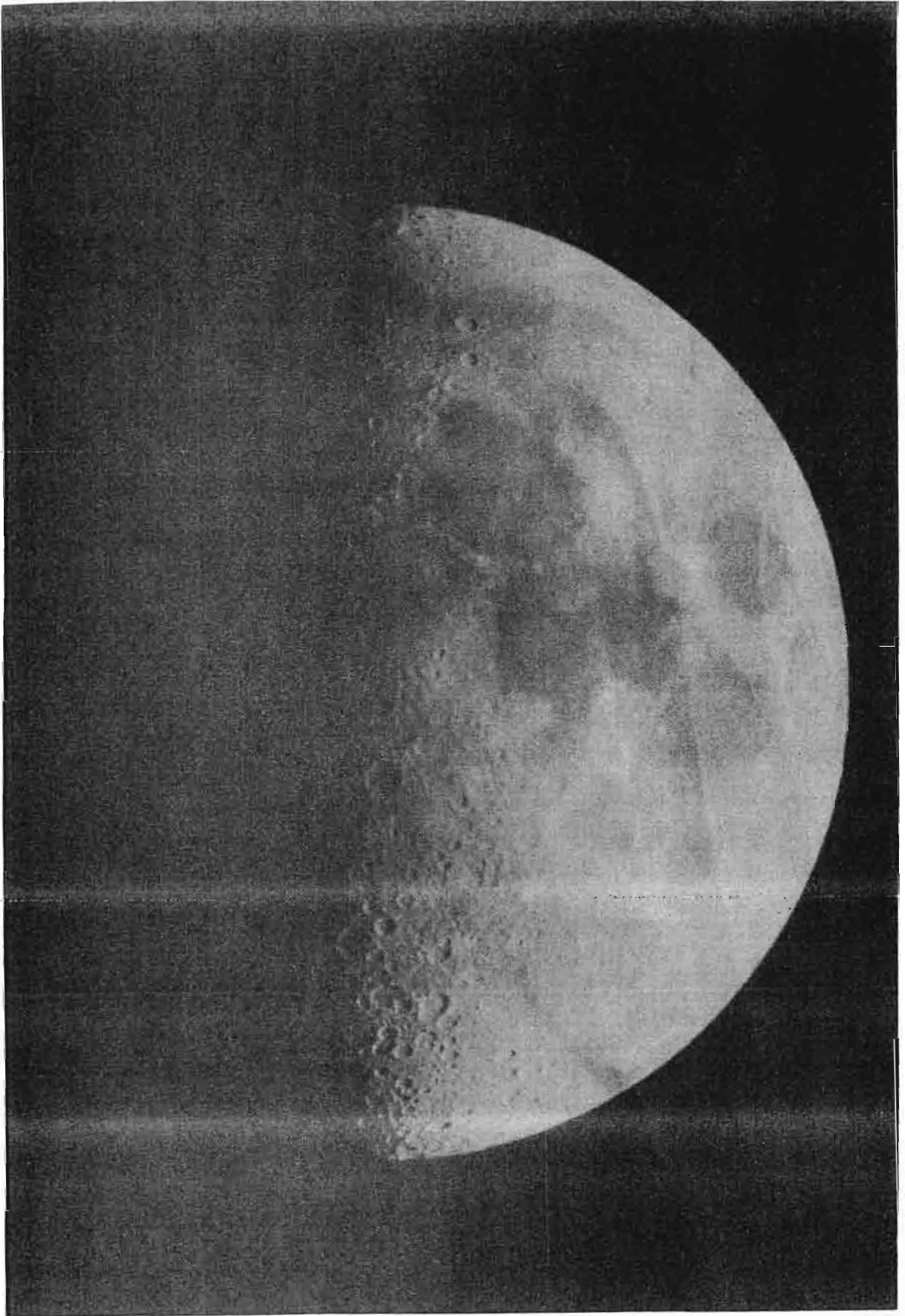
Hyginus gradi pravougli trougao sa Maniliusom i kraterom koji nosi ime našeg naučnika Boškovića.

Mare Serenitatis ili More Vedrine je lijepo kružno more i u ovoj fazi Mjeseca veoma dobro vidljivo. Planinski vijenci Haemusa i Caucasusa ograničavaju ga sa južne i istočne strane. Površina ove velike ravnice nema nekih naročito uočljivih oblika. Krater Bessel je jedini uočljiv, a istočno od njega možemo zapaziti bijelu mrlju koja predstavlja kontraverzni krater Linne. 1866. godine Julius Schmidt, koji jetada radio na svojoj kasnije čuvenoj mapi Mjeseca, objavio je da je Linne iščezao kao krater i da se vidi samo bijela mrlja na tom mjestu. I raniji posmatrači su tvrdili da je prstenasta planina Linne-a bila uočljiva ranije. U snažnijim teleskopima Linne ima kraterast oblik okružen bijelom mrljom. Danas se smatra da ova "uzbuna" oko kratera nije imala fizičke podloge već da su u pitanju određeni optički efekti različite vidljivosti pod raznim osvjetljenostima Mjeseca.

Sjeverno od ovog Mora vide se veći krateri Aristotel i Eudoxus.

35. D e v e t i d a n

Dan nakon prve četvrti uvidno polje nam ulaze ogromne prstenaste ravnice, džinovski krateri Ptolomeus (prečnik 160 km), Alphnsus (100 km) i Arzachel. Alphonsus je naročito postao poznat kada je 1958. godine sovjetski astronom Nikolaj Kozirev izvjestio o opažanju erupcije gasova praćene crvenkastim bljeskom. Pojava se prema njemu desila na podnožju centralne planine kratera.



Posmatranje je obavljeno 125 cm-skim teleskopom Krimске opservatorije.

Ovakva slabija svjetlucanja su opažena i ranije pa postoji mogućnost da je vulkanska aktivnost još prisutna u ovoj zoni.

Deveti dan Mjeseca dovodi nam mnogobrojne objekte u položaj pogodan za posmatranja. Zanimljivo je pogledati 90 kilometarski krater Tycho koji je smješten na južnom dijelu terminatora. Ima veoma lijepu centralnu planinu, a svuda od njega pružaju se mnogobrojne svijetle pruge koje se naročito ističu kada je Mjesec pun. Pojedine od njih pružaju se i do dvije hiljade kilometara preko našeg satelita. Slične pruge ima krater Copernicus smješten u Okeanu oluja (Oceanus Procellarum), a pojava se u manjim razmjerima opaža i kod drugih kratera. Priroda ove pojave još uvijek nije jasna i tek detaljnija ispitivanja na licu mjesta mogu dati odgovor na ovo, a i na mnoga druga pitanja.

Južno od Tycho-a leži Clavius drugi po veličini krater na Mjesecu. Ima prečnik od oko 260 kilometara. Unutar Mora oblaka (Mare Nubium) nalazi se interesantna tvorevina poznata kao "Uspravni zid". To je pukotina prava poput linije duga oko 100 kilometara. Zemljište zapadno od nje je za oko 250 metara više od tla istočno od pukotine.

Sjeverno od mjesečevog ekvatora blizu južnog dijela Mora kiša ili Mare Imbrium smješten je vjerovatno najljepši krater na Mjesecu. To je Copernicus prečnika 100 kilometara čiji se zidovi dižu do visine od preko 5000 metara. Centralni brežuljak ima tri odvojena vrha. Inače, u Moru kiša nalaze se neke interesantne strukture. Zapadni dio ove ravnice ograničen je planinskim lancem mjesečevih

Apenina u kome se nalazi vrh Mount Huygens visok oko 6000 metara. Sjeverno su Alpe sa čuvenom Alpska dolina koja je kao nožem urezana kroz planine.

Na sjeveru Mora kiša leži krater Plato koji je jedna od najbolje ispitanih struktura na Mjesecu. Razlog leži u tome što se u njegovoj unutrašnjosti nalaze mnogobrojne krateraste tvorevine. One su rasute po čitavom dnu, a povezuju ih svijetlije površine.

Nešto južnije od Plato-a je Pico, izolovano brdo. Istočno se zapaža impresivni Sinus Iridum (Dugin zaliv).

36. J e d a n a e s t i d a n

1783. godine poznati engleski astronom W. Herschel objavio je izvještaj o posmatranju Mjeseca u fazi kada je vidljiva "pepeljasta svjetlost". Svjetlost Zemlje tada dominira na Mjesečevom nebu. Od svih tamnih i svijetlih struktura koje su se mogle nazrijeti, on je istakao sjajni krater Aristarchus. Smješten je na sjevernom dijelu Okeana Oluja i okružuje ga mali sistem svijetlih pruga. Čitav krater, a posebno centralno brdo su građeni od svijetlog materijala koji omogućava da ga se veoma lako uoči. Postoje neki izvještaji o opaženoj aktivnosti i bljeskovima u ovoj oblasti. Jugoistočno od ovog kratera nalazi se znatno tamniji Herodotus. Sjeverno, uz njega, opaža se poznata Schroter-ova dolina koja ima oblik slova U. Daleko na jugu, na rubu Mora vlage (Mare Humorum) je Gassendi

za njega postoje izvještaji o opaženim bljeskovima koji ukazuju na moguću aktivnost.

37. T r i n a e s t i d a n

Mjesec je sada gotovo pun. Objekti na istočnom rubu postaju vidljivi, a zavisno od stepena libracije moguće je vidjeti i neke od oblika sa druge, nevidljive strane Mjeseca. 210 kilometara je širok krater Grimaldi i izgleda nam eliptičan. Ta eliptičnost mnogih kratera na rubu je prividna zbog ugla pod kojim ih gledamo. Riccioli u susjedstvu ima takođe tamno dno. Nešto južnije su Rook-ove planine sa vrhovima koji idu i preko 6000 metara. Dalje najugu je Schicard koji je nešto manji od Claviusa. Na sjeveru je kraterasta tvorevina nazvana Struve.

38. M j e s e c i a m a t e r

Jasno je da je Mjesec veoma dobro ispitan objekat. Njegovo kartografisanje je počelo još davno. Letovi automatskih stanica i spuštanja prvih ljudi proširili su naša znanja o njemu. Sigurno je da neko gledajući Mjesec 5 cm-skim ili 20 cm-skim teleskopom ne može otkriti ništa novo. No, kao i u svakoj nauci, i već proučene stvari mogu biti početniku od interesa u sticanju neophodnih iskustava. Sa druge strane, Mjesec je lijep i zanimljiv objekat za čisto posmatranje.

Na osnovu neke karte ili atlasa zgodno je dobro se upoznati sa osnovnim oblicima njegovog reljefa. Pojedini amateri bave se crtanjem teže vidljivih detalja na Mjesecu koji se pri fotografisanju mogu izgubiti.

Drugo polje rada je posmatranje onih kratera ili zona na Mjesecu za koje postoje izvještaji o bljeskovima i promjenama ma koje vrste. Neke od takvih promjena su dokazano optičke prirode, dok za one druge možemo još uvijek ostaviti otvorena vrata. Za ovakva istraživanja veoma je korisno upotrebljavati filtere koji smanjuju prejak bljesak Mjeseca, a u isto vrijeme omogućuju sigurniju detekciju eventualne promjene u boji nekog detalja. Najčešće se koristi kombinacija od dva filtera crvenog i plavog. Oni se namjeste tako da se može naizmjenično posmatrati čas kroz jedan, a čas kroz drugi.

Pomračenje Mjeseca su zanimljive i široko posmatrane pojave. Pomračenja mogu biti totalna i djelimična. Mogu nastati pomračenjem u sjenci Zemlje ili u njenoj polusjenci. Zemljina sjenka nije potpuno crna jer dosta zraka refrakcijom kroz atmosferu ulaze u zatamnjeniji dio. Tako se Mjesec vidi za vrijeme totalnog pomračenja kao bakarno crveni disk. Vidljivost Mjeseca varira u zavisnosti od atmosferskih uslova. Tako je tokom pomračenja od 25. juna 1964. godine Mjesec bio toliko taman da ga je bilo teško vidjeti bez pomoći teleskopa. U drugim pak slučajevima on se sasvim dobro vidi okom i čak bude relativno sjajan. Prema tome prateći ovu pojavu možemo ujedno pratiti i propustljivost zemljine atmosfere u cjelini u datim vremenskim periodima. Velike erupcije vulkana kao ona Krakatau-a iz 1883 ili Bali iz 1963. godine se direktno odražavaju na slabiju vidljivost pomračenja.

VRIJEME I ČASOVNICI U ASTRONOMIJI

39. P r a v o S u n č e v o v r i j e m e

Pravo Sunčevo vrijeme je časovni ugao Sunca mjeran od trenutka donje kulminacije (tj. od ponoći). Ovo vrijeme nam pokazuje sunčani časovnik. Ono je u svakodnevnom životu nepraktično iz dva razloga. Ono je nejednoliko jer sunčevo kretanje po ekliptici nije jednoliko. Sa druge strane časovni ugao je mjeran na ekvatoru koji je nagnut u odnosu na ekliptiku.

40. S r e d n j e s u n č e v o v r i j e m e

Da bi se izbjegao problem nejednolikosti vremenskih jedinica pravog sunčevog vremena, uvedeno je tzv. "srednje" sunce koje se kreće po ekvatoru jednakom ugaonom brzinom. Srednje sunčevo vrijeme se onda definiše kao časovni ugao mjeran od donje kulminacije (tj. od ponoći) srednjeg sunca.

41. J e d n a č i n a v r e m e n a

Vremenská jednačina je razlika u

rektascenziji između srednjeg i pravog sunca. Ta korekcija se dodaje srednjem vremenu da bi iz njega dobili pravo sunčevo vrijeme.

42. G r i n i č k o v r i j e m e

Srednje vrijeme za meridijan koji prolazi kroz Greenwich računato od ponoći nazivamo Griničko vrijeme. Svjetsko vrijeme (Universal Time ili UT) je jednako ovom vremenu.

43. E f e m e r i d n o v r i j e m e

Radi veće tačnosti astronomskih mjerenja uvedeno je ovo vrijeme. Znamo da ni Zemljina rotacija nije u potpunosti jednolika. Efemeridno vrijeme ili ET je bazirano na orbitalnim kretanjima Zemlje i Mjeseca izračunatih na osnovu teorije gravitacije.

44. S t a n d a r d n o i l i z o n s k o v r i j e m e

Lokalno srednje vrijeme za neku od 24 vremenske zone na koje je Zemlja podjeljena predstavlja Standardno odnosno Zonsko vrijeme za datu tačku. Takvo je recimo Srednjeevropsko vrijeme koje se koristi u Jugoslaviji.

45. J u l i j a n s k i d a n (JD)

Da bi se astronomska posmatranja koja se vrše u dužim vremenskim razmacima mogla upoređivati i svoditi na jedan vremenski trenutak uveden je tzv. Julijanski period koji se mjeri u julijanskim danima. On je počeo 4713. godine prije nove ere i to od 1. januara. Tako je 1. januara 1980 godine bilo 2 444 240 julijanskih dana.

46. S u n č e v d a n

Srednji sunčev dan je interval između dva uzastopna prelaza srednjeg sunca kroz meridijan. Između njega i srednjeg zvjezdanog vremena postoji veza:

$$24^{\text{h}} \text{ srednjeg sunč. vrem.} = 24^{\text{h}} 3^{\text{m}} 56^{\text{s}},555 \text{ sred. zvj. vrem.}$$

47. Z v j e z d a n o v r i j e m e

Zvjezdano vrijeme je interval između dvije uzastopne gornje kulminacije tačke proljetne ravnodnevnicke. Lokalno zvjezdano vrijeme u bilo koji moment nekog mjesta je rektascenzija meridijana tog mjesta. Vrijedi veza:

$$24^{\text{h}} \text{ sred. zv. vremena} = 23^{\text{h}} 56^{\text{m}} 4^{\text{s}},091 \text{ sred. sunč. vremena.}$$

48. O p s e r v a t o r i j s k i č a s o v n i k

Za astronomska istraživanja tačno bilježenje vremena je veoma važno. Zbog toga je poželjno imati po mogućnosti što tačniji časovnik. U skromnijim uslovima ne mora se težiti onim najskupljim jer za jedan časovnik je najvažnija što bolja jednoličnost hoda. On može da ide brže ili sporije ali je važno da se to vrši jednoliko i da time možemo izračunati njegovu grešku i unositi popravke. Ako naš časovnik ide brže onda je njegova greška pozitivna, a korekcija koju moramo naći je negativna. Za spori časovnik ovo je suprotno. Grešku je najbolje uočavati pomoću radio signala neke stanice. Naše jugoslovenske radio stanice su posljednjih godina nabavile kvalitetnu opremu pa su vremenski signali koji se emutuju neposredno pred puni sat veoma tačni i za amaterske uslove sasvim dovoljni.

Ako sa M označimo tačno vrijeme dobijeno na osnovu radio signala, sa T vrijeme koje pokazuje naš časovnik, onda će greška časovnika U biti definisana relacijom:

$$U = M - T$$

Iz ovoga tačno vrijeme je:

$$M = T + U$$

Tokom rada zbog raznih nesavršenstava u mehanizmu časovnika može da dođe do promjena stanja odnosno veličine greške U . Ovu promjenu greške označićemo sa W . Ako je u nekom trenutku T_1 greška časovnika bila U_1 , a u trenutku T_2 , U_2 , tada se W definiše kao:

$$W = \frac{U_2 - U_1}{T_2 - T_1}$$

Greška časovnika u nekom trenutku T , pri čemu je T_1 manje od T_2 , može napisati:

$$U = U_1 + W(T - T_1)$$

Ovim načinom se vrši smanjivanje same greške U . Da bi smo povećali tačnost mjerenja, treba izvršiti veći broj određivanja W i iz toga naći srednju vrijednost. U današnje vrijeme došlo je do pojave relativno jeftinih digitalnih časovnika čija je tačnost u prosjeku znatno veća od onih mehaničkih. Oni sa svjetlećim ciframa su veoma pogodni za noćni rad pored teleskopa.

METEORI I KOMETE

49. Meteorski potoci

Sunčev sistem sadrži veliku količinu sitnih i krupnijih tijela koja se kreću usljed njegovih gravitacionih sila. Sv tu materiju nazivamo meteorska materija. Većina tih čestica ili krupnijih gromada je grupisana u tzv. rojeve. Kada pri svom kretanju neki od tih grumenova materije uleti u zemljinu atmosferu on će sagorjeti usljed velike brzine i trenja o čestice vazduha. Energija pri tom zrači u obliku toplote i svjetlosti koju zapažamo. Veoma krupna meteorska tijela - bolidi mogu da padnu i do same površine i tada ih nalazimo na zemlji kao meteorite.

Na osnovu posmatranja ćemo uočiti da su neki meteori sjajniji od drugih, da neki lete sporije i slično. Zato se mogu praviti razne podjele koje nam olakšavaju izučavanja u ovoj oblasti. Bolidi su vrlo sjajni meteori i njihova magnituda je veća od -4. Ostali meteori se mogu smatrati slabijim, a djelimo ih na teleskopske koji su ispod 6 magnituda i na vizuelne koji su sjajniji od 6. Postoje meteori koji ne ulaze ni u kakve potoke i njih nazivamo sporadičnim. Oni iz potoka imaju osobinu da lete paralelno u prostoru i mi to zapažamo kao da svi oni na nebu izlijeću iz iste tačke. Ova tačka se naziva radijant nekog potoka i koordinate radijanata su nam unaprijed poznate za sve registrovane potoke. Meteorski rojevi su u prostoru raspoređeni u, da tako kažemo, većem volumenu.

Prolazivši kroz takav roj Zemlja može ući u njegove gušće ili rijede zone. Potoci su gušće oblasti i nekad se može desiti da se u predviđeno vrijeme i ne pojave. Slabi potoci su oni koji u nekom vremenskom intervalu proizvedu malo meteora i većina njih su slabijeg sjaja. Nasuprot njima, jači potoci sadrže sjajnije meteore i traju duže vrijeme. Postoje, takođe, dnevni noćni potoci. Ove dnevne ne možemo vizuelno opažati jer se zbog Sunca ne vide. Radarska posmatranja poslije II svjetskog rata potvrdila su postojanje ovih potoka. Ova metoda omogućava direktno mjerenje visine i brzine meteora. Poznato je da su astronomi utvrdili da postoji direktna veza pojedinih potoka sa ostacima nekih raspadnutih kometa. Tako se npr. Leonidi dovode u vezu sa kometom 1866 I, Perseidi sa kometom 1862 III i sl.

50. F o t o g r a f s k a p o s m a t r a n j a m e t e o r a

U osnovi razlikujemo tri načina posmatranja meteora. To su vizuelna, fotografska i radarska. Vizuelna se obavljaju okom, bez ikakvih instrumenata. Uprkos tome, ovako se mogu sakupiti dragocjeni podaci o broju meteora u pojedinim potocima, njihovoj frekvenciji itd. Za ovakva posmatranja koristi se ležeći položaj i osmatra se samo zona oko zenita. Ukoliko se želi locirati samo jedna manja oblast neba i u njoj vršiti posmatranje, tada se može napraviti poseban kružni ram. To se izvodi od obične žice i postavi iznad posmatrača (slika 55.). Od visine i prečnika obruča zavisi površina neba koja se tako posmatra. Ovaj način olakšava ucrtavanje tragova

meteora, a više posmatrača istovremeno povećava tačnost. Jedan u grupi se bavi zapisivanjem podataka.

Istorijski gledano, prvi snimak meteora napravljen je u Pragu još 1885. godine. Od tada se ova oblast astronomije razvijala pa tako danas imamo i posebne patrlne mreže namjenjene snimanju meteora. Broj korisnih informacija koje možemo izvući iz fotografija meteora je znatno veći od onih koje prikupimo vizuelno. U isto vrijeme, zbog dokumentarnog karaktera fotografije, sve što snimimo sačuvano je za kasniju pažljivu analizu. Za ovakve poslove potrebno je koristiti kamere velike svjetlosne moći. Najbolje je da su to širokougaoni objektivni. U novije vrijeme počinje upotreba tzv. "All sky" kamera sa objektivima koji zahvataju čitavo nebo na jednom snimku /fish eye objektivni/. Oni se primjenjuju za snimanje sjajnih meteora- bolida. Jedna ovakva kamera će biti montirana u Sarajevu, na opservatoriji Trebević.

Komercijalne kamere koje su amateru najpristupačnije zahvataju na nebu površinu prečnika 45 stepeni. Kamera pri snimanju može biti nepokretna i tada su tragovi snimljenih zvijezda lukovi. Ukoliko je kamera pričvršćena na neki teleskop sa časovnim mehanizmom, tada ćemo imati normalne astronegative sa tačkastim zvijezdama. Meteoriti na obje vrste snimaka ostavljaju svoj trag u vidu duže ili kraće, sjajnije ili slabije crtice. Ekspozicije ne treba da su duže od vremena potrebnog da se dostigne "prag" osjetljivosti korištenog filma, tj. vremena potrebnog da se snime najslabije zvijezde. Treba koristiti nešto osjetljivije filmove.

Šanse da se snimi neki meteor nisu tako velike. Računa se da je potrebno utrošiti oko 100 časova ekspozicija da bi se "uhvatio" jedan sjajni meteor. U vrijeme kada je maksimum nekog sjajnijeg roja tada nam je za istu svrhu potrebno 20 časova. Pri tome ovi podaci vrijede ako smo uspjeli kamerama pokriti cijelo nebo. Obično je to i poželjno. Dakle, ako nemamo objektiv tipa "riblje oko" tada uz pomoć nekoliko kamera sa širokougaonim objektivima "prekrijemo" što je moguće veći dio neba. Time su naše šanse da snimimo veći broj meteora i znatno veće.

Kada se bavimo ovim poslom tada nas sigurno zanima koja je granična magnituda nekog meteora koju možemo snimiti našim priborom. Ako ne želimo ulaziti u komplikovana preračunavanja, tada je korisno primjeniti sljedeću metodu. Usmjerimo fotografski aparat prema nekom sazviježđu koje dobro poznajemo. Eksponiramo negativ 15 sekundi kako bismo imali sjajnije zvijezde kao tačke. Zatim treba kameru naglo određenom brzinom pokrenuti u bilo kom pravcu u vremenskom intervalu od 3 sekunde. Pri tome brzina kretanja kamere treba da je takva da u jednoj sekundi ona pređe na nebu razmak koji odgovara ugaonoj mjeri od 20 - 30 stepeni. Time smo, u stvari, simulirali prelet meteora preko neba. Na početku svakog od tragova je zvijezda koja je trag izazvala. Onaj od niza tragova koji je najslabiji, tj. koji se jedva nazire, predstavlja graničnu prividnu veličinu /magnitudu/ meteora koju smo u stanju da snimimo. Jasno je da je ta magnituda ista kao magnituda dotične zvijezde koja je izazvala slabi trag. Ovaj podatak nam može koristiti i ako uz fotografsko snimanje posmatramo okom. Procjenjujući sjaj meteora koji proleti kroz vidno polje aparata možemo odmah znati da li je mogao ostaviti svoj trag na emulziji

Ukoliko se radi o izrazito sjajnom meteoru /bolidu/ tada snimanje treba prekinuti da bi se spriječilo djelovanje fona neba tj. potamnjenja negativa pri dugoj ekspoziciji.

51. O b r t a t o r u m e t e o r s k o j f o t o g r a f i j i

Kao što znamo, meteori pod raznim uglovima i sa različitim brzinama prodiru u atmosferu Zemlje. Ako imamo dvije tačke sa kojih vršimo posmatranja, tada možemo izračunati visinu na kojoj se meteor pojavljuje. Usput se dolazi do podataka o brzini preleta, trajanju i tačnom položaju nekog meteora koji je istovremeno opažen iz dvije tačke.

Da bi se došlo do ovih podataka ispred fotografske kamere postavljamo poseban uređaj - obrtator. To je u stvari propeler oblika kao na sljedećoj fotografiji i pokreće ga motor. Brzina motora mora biti konstantna i najpodesnije je da iznosi 20 - 50 obrta u sekundi. Na snimku koji dobijemo trag nekog meteora će biti isprekidan, jer će u vrijeme preleta biti djelimično prekrivan obrtnim segmentom.

Jasno je da amaterima snimanje iz dvije tačke, na udaljenosti od 25 do 100 kilometara, nije baš uvijek izvodljivo. Zbog toga se obrtator može koristiti samo iz jedne tačke. No, tada se od mogućih informacija dobija samo trajanje preleta meteora i to iz jednačine:

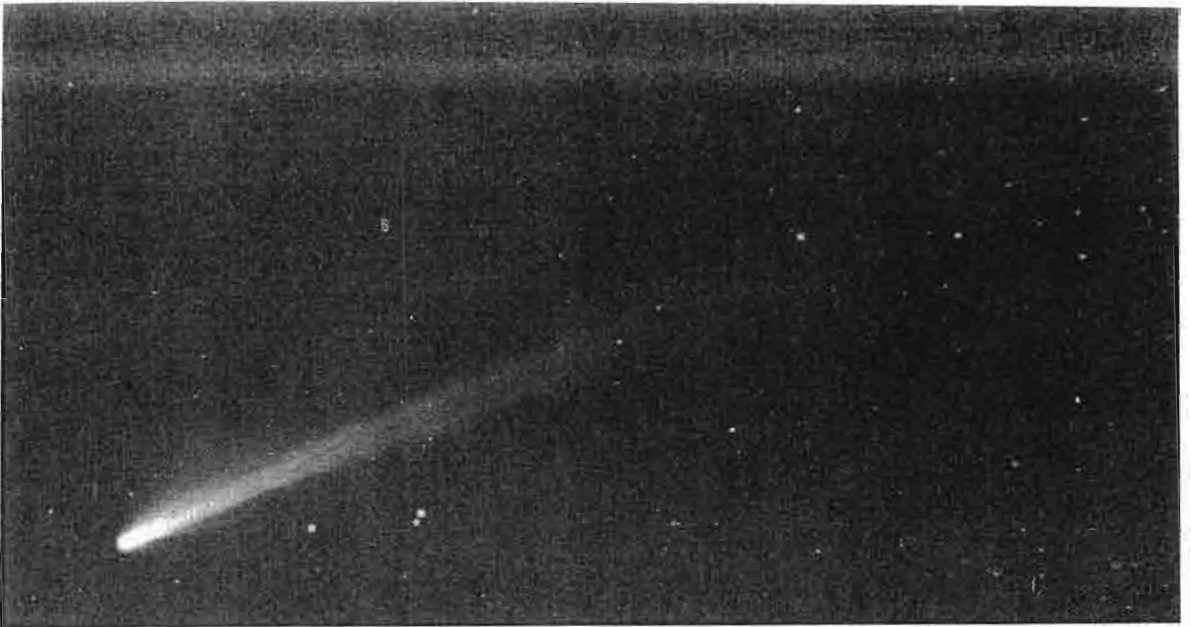
$$\bar{t} = \frac{n}{v}$$

gdje je \bar{t} vrijeme trajanja preleta, n broj prekida traga meteora na negativu, a v brzina obrtanja motora /br. obr. u sec./

52. K o m e t e

Postoje pisani dokumenti o posmatranjima kometa u Kini i Vavilonu još prije 4000 godina. Posmatrali su ih Egipćani, Grci i Rimljani. Njihovo nepredvidljivo pojavljivanje, relativno brzo kretanje na nebu i veličina odstupali su od savršenog nebeskog reda, pa su privlačile naročitu pažnju ljudi. Najčešće im se pripisivalo da su predskazivači nesreća. Spekulacije o porijeklu, prirodi i načinu kretanja trajale su sve dok E. Halley nije, u sedamnaestom vijeku, na osnovu tek pronađenog Newtonovog zakona gravitacije, izračunao orbitu velike komete, danas poznate pod njegovim imenom, tretirajući kometu kao čvrsto tijelo koje se slobodno kreće u sunčevom gravitacionom polju.

Do danas je poznato preko hiljadu kometa. Putanje su im otvorene (parabole ili hiperbole) i zatvorene (elipse sa većim ili manjim ekscentricitetom). Kako smo u stanju da komete posmatramo samo u blizini Sunca, teško je praviti razliku između parabolične i eliptične putanje sa velikim ekscentricitetom. Ako je putanja otvorena kometa dolazi izvan sunčevog sistema i nakon prolaska pored Sunca nepovratno odlazi van sunčevog sistema. Ako je putanja zatvorena kometa je periodična i to: kratkoperiodična - ako joj je period 5 - 12 godina i tada se u afelu približava Jupiterovoj putanji i dugoperiodična - ako joj je period 80 - 100 godina i u afelu se približava Neptunovoj putanji. Oko 50 kometa je Jupiter skrenuo sa puta ka Suncu i uhvatio u svoje jako gravitaciono polje. One čine Jupiterovu familiju kometa.



Fotografija br. 9. Kometa West snimljena u plavoj svjetlosti pomoću dvostrukog astrografa.



Fotografija br. 10. Ista kometa snimljena u crvenoj svjetlosti.

Kod kometa se razlikuju glava i rep. Glava se sastoji od jezgra i kome (sl. 56.). Koma je veliki difuzni, skoro sferni oblak koji okružuje jezgro. Zavisno od komete dimenzije kome mogu biti, u blizini Sunca kada je najveća, veličine Zemlje do većih od Sunca. Obično su veličine Jupitera. Prečnik kome raste približavanjem komete Suncu, da bi se na udaljenosti od 1 a. j. počeo smanjivati. Nedavno je vanatmosferskim posmatranjima ustanovljeno da je koma okružena rijetkim oblakom vodonika.

Smatra se da je jezgro komete čvrsto. Prečnik mu je svega nekoliko kilometara. Sastoji se od fragmenata metala i silikata povezanih zaleđenim metanom, amonijakom i vodom. Ultravioletno zračenje sa Sunca sublimira led - pretvara ga iz čvrstog u gasovito stanje. Ovakvom strukturom jezgra moguće je objasniti pojavu cijepanja komete na dva ili više dijelova i iznenadne erupcije gasa i prašine iz jezgra. U prvom slučaju se topi led koji je spona između dva ili više krupnijih komada metala i silikata. U drugom slučaju se metalni fragmenti, sa čije se jedne strane led otopio, griju i, kako dobro provode toplotu, tope led koji je u sijenci. Stvaraju se džepovi gasa pod pritiskom, jer je zarobljen ledom i metalom. Gas se oslobađa eksplozijom i u mlazu ulazi u rep.

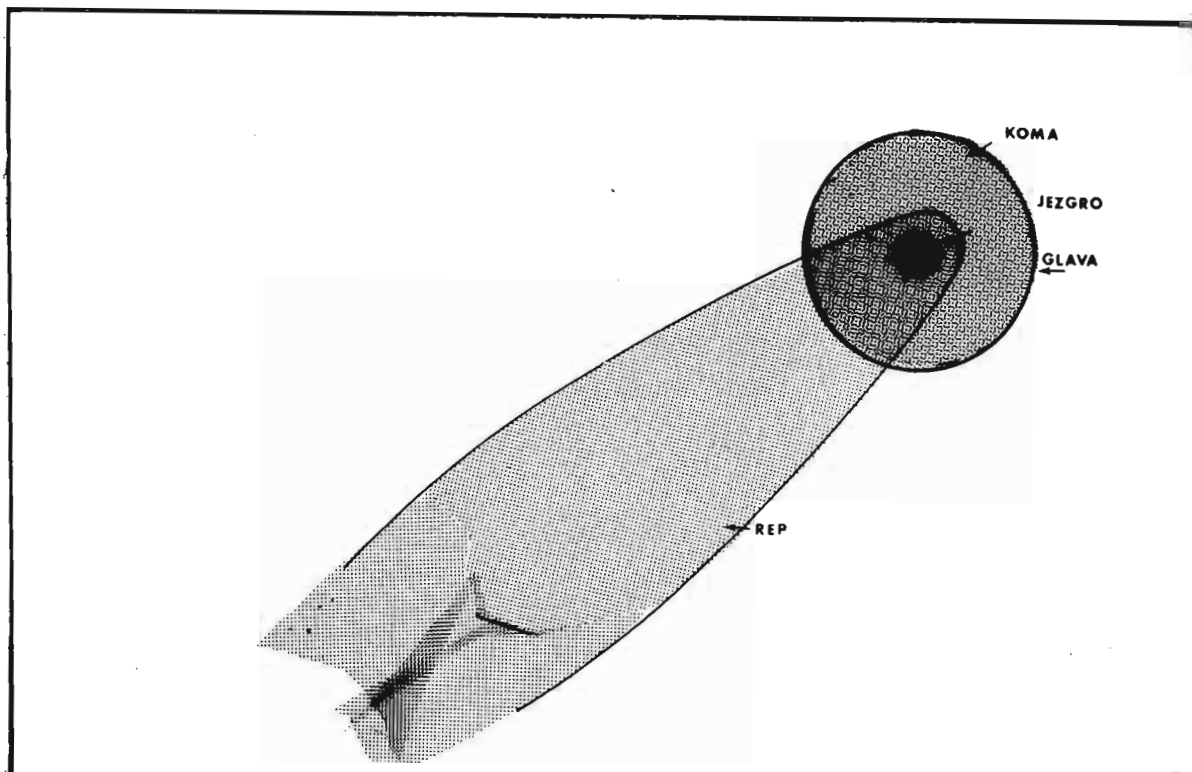
Komete uglavnom nemaju rep, ali ako on postoji ima enormne dimenzije. Najduži (Velika Kometa iz 1843. godine) je bio preko 2 a. j. Dužine i oblik repa se mijenjaju zavisno od blizine Sunca. Uvijek je okrenut od Sunca tako da slijedi kometu. pri približavanju, a prethodi joj pri udaljavanju od Sunca. Tome je uzrok Sunčev vjetar - mnoštvo čestica visokih energija koje Sunce izbacuje sa svoje površine,

a koje bombarduju čestice repa komete i odbijaju ih od Sunca. Pritisak zračenja sa Sunca i Sunčev vjetar izbacuju materiju iz kome da formira rep. Rep plavičaste boje je sastavljen od CO^+ molekula, a rep crvenkaste boje od prašine (sl. 2). Materija iz repa je nepovratno izgubljena za kometu, te ga ona nakon nekoliko stotina obilazaka oko Sunca potpuno gubi.

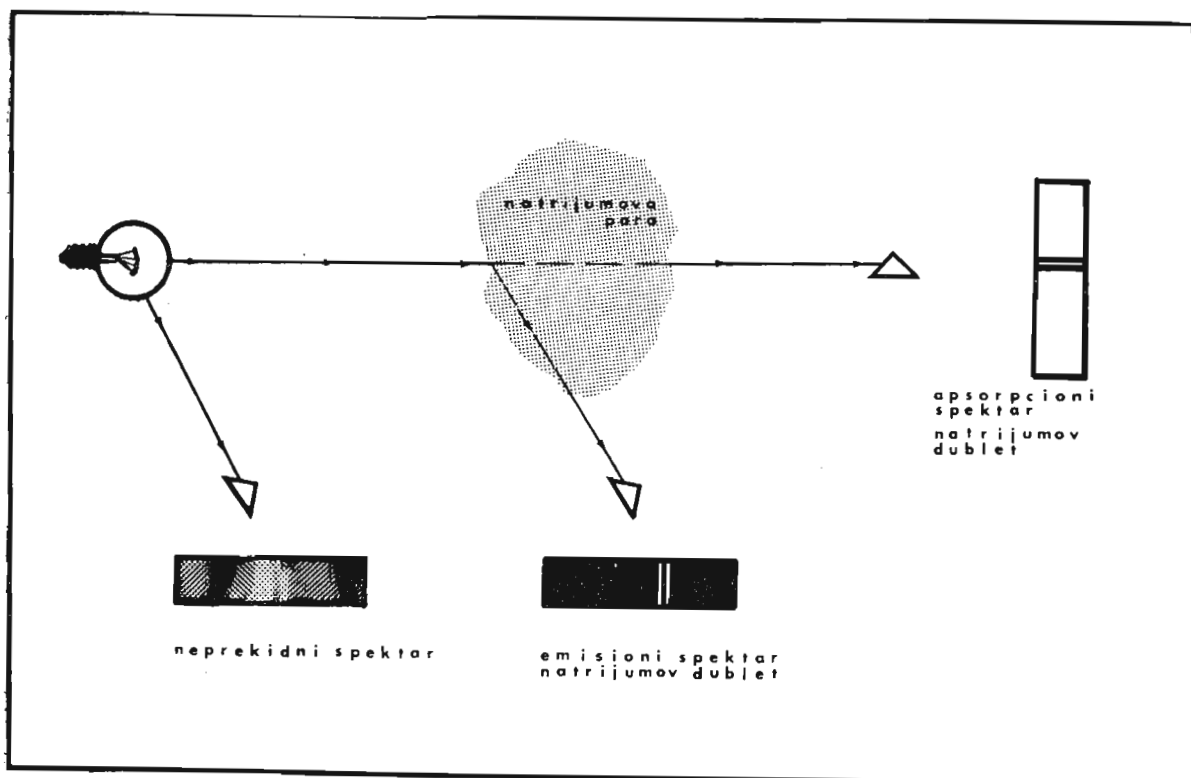
Hemijski sastav komete se otkriva spektralnom analizom. Na većim udaljenostima od Sunca (preko 3 a.j.) spektar je sličan sunčevom, što znači da se kometa na toj daljini sastoji od malih, čvrstih čestica koje reflektuju sunčevu svjetlost. Na udaljenosti marsove orbite pojavljuju se emisione linije molekula C_2 , CN, CH, OH i NH_2 prozrokovane razbijanjem CH_4 , CO_2 , NH_3 i H_2O ultravioletnim zracima sa Sunca. Bliže Suncu javljaju se emisione linije metala: željeza, natrijuna, hroma i nikla.

I pored velikih razmjera masa kometa je beznačajna. Iznosi prosječno oko milijarditog dijela zemljine mase. Kroz rep i komu se provide zvijezde i praktično svu masu nosi jezgro.

Porijeklo kometa nije sa sigurnošću otkriveno. Primjećeno je da u sunčev sistem dolaze iz svih mogućih pravaca i da ih se polovina kreće u pravcu kretanja planeta, a polovina u suprotnom. To znači da nemaju isto porijeklo kao i planete. Kako komete pri svakom obilasku oko Sunca gube masu, nakon nekoliko stotina obilazaka gube rep pa i komu. Jezgro se često raspadne na mnoštvo dijelova te se kometa gubi iz vida sa Zemlje. Da su nastale kad i planete davno bi već postale nevidljive, a pošto ipak vidamo



Slika 56. Struktura komete



Slika 57.

sve nove i nove komete znači da dolaze izvan sunčevog sistema. Najprihvaćenija teorija o porijeklu kometa je teorija holandana Oorta. Po njoj je sunčev sistem, na udaljenosti od 150 000 a. j. (polovina puta do najbližih zvijezda), okružen oblakom sa najmanje 100 milijardi kometa. Gravitaciono djelovanje okolnih zvijezda i Sunca povremeno izbaci poneku kometu iz oblaka i pošalju je ka Suncu. Neke od tih kometa, pod zajedničkim djelovanjem planeta i Sunca, ostaju trajno zarobljene u sunčevom sistemu krećući se po eliptičnim putanjama.

53. T r a ž e n j e k o m e t a v i z u e l n i m p u t e m

Za otkrivanje kometa astronomi - amateri mogu koristiti skromna sredstva - durbine i male teleskope. potrebno je odlično poznavanje neba i posjedovanje atlasa neba u koji su ucrtani svi objekti koje teleskop može da registruje. Instrument bi morao biti malog fokusa (80-150 cm), velike svjetlosne moći, uz malo uvećanje i prečnika objektiva od 80 - 200 mm. Durbin sa uvećanjem od 8 - 10 puta takođe može poslužiti. Optika kod ovih instrumenata mora biti kvalitetna i bez unutrašnjih refleksija koje mogu stvarati likove slične kometama.

Potrebno je, za vrijeme vedre noći, pregledati cijelo nebo. Najbolji način da se to postigne, ako se posjeduje teleskop sa paralaktičkom montažom, a da se ne propusti neki dio neba, je da se teleskop usmjeri na horizont i učvrsti po deklinaciji.

Po rektascenziji se teleskop pomjera lagano dok se ne pretraži cijeli pojas neba. Zatim se teleskop po deklinaciji pomjeri za $3/4$ vidnog polja, ponovo učvrsti i pretraži slijedeći pojas. Na ovaj način se pretraži cijelo nebo idući po deklinaciji do nebeskog pola.

Durbin ili dvogled je takođe potrebno učvrstiti, jer u ruci nema potrebnu stabilnost. Najbolje bi ga bilo pričvrstiti za neku od montaža za teleskope, tvorničke ili vlastite izrade. Ako se takva montaža ne može nabaviti dobro može poslužiti stalak za amaterske filmske kamere.

Naročitu pažnju treba obratiti na maglovite objekte. Ako se takav objekat opazi, a ne postoji u atlasu na tom mjestu, vjerovatno je pronađena kometa na velikoj udaljenosti od Sunca. Da bi se uvjerali da je tako potrebno je zapamtiti položaj objekta u odnosu na okolne zvijezde, te mu provjeriti položaj nakon nekoliko sati. Najbolje je fotografisati objekat u razmaku od nekoliko sati. Ako to nije moguće onda pažljivo ucrtati na papir zvijezde iz vidnog polja i što tačnije položaj objekta u odnosu na njih. Kometa se kreće dovoljno brzo da za nekoliko sati malo promjeni položaj u odnosu na okolne zvijezde. Preporučuje se posmatranje za vrijeme vedrih noći bez Mjeseca, i to je potrebno početkom noći veću pažnju obratiti na zapad, polovinom noći na sjever, a pred zoru na istok jer je vrlo vjerovatno da se komete, krećući se prema Suncu, pronađu upravo u njegovoj blizini.

Ako se opazi kometa, potrebno je odrediti njen položaj pomoću poznatih položaja zvijezda, tačan trenutak posmatranja i, ako je to moguće, iz više posmatranja ocijeniti pravac i brzinu kretanja među zvijezdama. Podatke treba poslati nekoj od najbližih astronomskih opservatorija.

54. Fotografsko traženje kometa

Traženje kometa fotografskim putem je najpodesnije vršiti u ljetnim mjesecima. Snimaju se zone ispod Sjevernjače, na pola puta do sjevernog horizonta. Razlog je u tome što tada Sunce zalazi znatno sjevernije pa nije daleko ispod horizonta. Najpodesniji je interval jedan čas prije do jedan čas poslije pola noći. Poznato je da je komete najlakše tražiti kada su blizu Sunca i kada im je sjaj najveći.

S obzirom na to da se za ovakve poslove koriste osjetljiviji filmovi to je neophodno voditi računa o izboru mjesta. Ono mora biti tamno, dalje od većih izvora svjetlosti. Poželjna je i što veća nadmorska visina. Neophodno je posjedovati teleskop sa satnim mehanizmom, tako da su njime moguća snimanja sa dužim ekspozicijama. Praćenje može biti električno ili ručno. Kao kameru možemo koristiti bilo koju 35 mm kameru. Za objektiv je bolje uzeti teleobjektiv fokusa 20 i više cm. Kvalitet slike je bolji, rotacija polja koja se javlja kod širokougaoih objektivu je smanjena. Ovim se takođe dobija podesniji razmjer slike i mogu se snimiti magnitude (slabije). Idealno je polje prečnika 5 do 10 stepeni.

Preporučuje se upotreba sitnozrnastog filma osjetljivog u zelenom dijelu spektra. Naš osnovni cilj je lako prepoznavanje eventualno snimljene komete u polju sa više hiljada zvjezdanih likova koji tada moraju biti što oštiri.

Koma, glavni dio komete, koja je i jedina vidljiva na većim daljinama od Sunca, sadrži dosta dvoatomskog ugljenika. On emituje svjetlost pod dejstvom Sunca i to u zelenom dijelu spektra. Previše osjetljivi filmovi nisu preporučljivi jer su zvjezdani likovi na njima malo magloviti.

Svake noći potrebno je napraviti nekoliko ekspozicija ranije izabranih oblasti. Najbolje je uvijek se držati istih koordinata kako bi kasnije upoređivanje bilo lakše. Trajanje ekspozicije treba da je toliko da se dobiju najslabije zvijezde u kombinaciji kamere i filma. Ono se određuje probom. Ovim će zvijezde biti oštrijih rubova, a fon neba neće posiviti snimak.

Negativ se propisno razvije u svježim hemikalijama i pažljivo osuši. Postoji više mogućih metoda kojima možemo otkriti prisustvo novog objekta na nekom snimku. Ako se raspolaže sa blink komпаратom onda je posao olakšan. Pošto to obično nije slučaj potrebno je koristiti se drugim načinima. Ista zona neba se može dva puta snimiti u razmaku od, recimo, 2 časa. Pri tome se za prateću zvijezdu uzme neka vrlo bliska prethodnoj. Kao rezultat dobit ćemo zvjezdano polje u kome će svi objekti biti dvostruki. Ako se pojavila kometa, tada će njeno kretanje biti nešto veće i njena druga slika će biti više razmaknuta. Međutim, ako je fokus kamere kojom snimamo malen, tada vjerovatno neće biti dovoljno vremena da se kometa pomakne. Tada možemo pregledati uvećani negativ nekom lupom i ispitati karakter svake sumnjive maglovite tačkice. Ako na osnovu nekog dobrog atlasa utvrdimo da nema nikakve galaksije ili drugog poznatog objekta na tom mjestu, tada postoji mogućnost da smo snimili kometu. Zatim snimimo novu fotografiju te oblasti kako bismo potvrdili, na osnovu kretanja, da se radi o kometi.

Kada smo posve sigurni u otkriće, tada možemo poslati telegram na adresu: Central Bureau for astronomical telegrams, Smithsonian Observatory, Cambridge, Massachusetts 02138, USA. Ovaj Centar je zadužen da publikuje otkrića kometa, novih i slično i samim tim on i verifikuje otkrivača komete koji prvi javi svoje posmatranje. Naravno, taj telegram treba da sadrži samo osnovne podatke, koordinate moguće komete, vrijeme osmatranja i sjaj. Tekst treba da je šifrovan po pravilima Međunarodne astronomske unije ili može biti napisan na engleskom.

55. F o t o g r a f s k a i p o l a r i z a c i o n a p o s m a t r a n j a k o m e t a

Fotografisanje kometa je moguće teleskopima sa satnim mehanizmom. Preporučuje se upotreba kratkofokusne kamere velike svjetlosne moći koja se montira paralelno sa teleskopom i filma veće osjetljivosti. Ako se kometa vidi golim okom može se koristiti i obični fotoaparatus sa maksimalno otvorenom blendom. Ekspozicija se bira prema sjaju komete. U okularu je potrebno imati osvjetljen nitni krst u čiji centar se namjesti glava komete i pazi da za svoje vrijeme snimanja glava komete tu i ostane. Okolne zvijezde će izgledati kao crtice, jer se kometa među njima kreće.

Kometu treba snimati dok god je to, opremom koja se koristi, moguće, i dok god to vremenski uslovi dozvoljavaju. Iz serije takvih snimaka moguće je odrediti brzinu isticanja materije iz glave komete i kretanje materije u repu.

Na kolor fotografijama moguće je odmah utvrditi da li je rep komete sastavljen od prašine (crvenkast) ili od jonizovanih gasova (plav). Takođe se sa snimaka sa većom tačnošću može odrediti položaj komete mjereći njenu udaljenost od sjajnijih zvijezda, čiji su položaji poznati, kao i ucrtati prividnu putanju komete među zvijezdama. Iz precizno određena tri položaja komete moguće je izračunati njenu putanju. Fotografskim putem se može i dovoljno precizno odrediti prividni sjaj komete. To je najzgodnije napraviti snimanjem van fokusa - kada su i likovi zvijezda i lik komete mutni, zamućeni. Sjaj komete na takvom snimku se određuje u odnosu na okolne zvijezde poznatog sjaja metodom određivanja sjaja promjenljivih zvijezda. Treba zabilježiti dužinu ekspozicije i vrijeme početka ekspozicije.

Upotrebom polarizacionog filtera može se ustanoviti stepen polarizacije svjetlosti glave i repa komete, a odatle dobiti neke podatke o prirodi čestica na kojima se svjetlost polarizuje, električnom i magnetnom polju okolne sredine i strukturi glave i repa. Filter se stavlja u blizini fokusa teleskopa. Za ispitivanje linearne polarizacije svjetlosti filter se zakreće u tri položaja međusobno udaljena za ugao $\frac{\pi}{3}$, a za ispitivanje kružne polarizacije svjetlosti u 4 položaja međusobno udaljena za $\frac{\pi}{3}$. Kao detektor se može koristiti fotomultiplikatorska cijev, fotografska emulzija ili oko.

ELEMENTI ZVJEZDANE ASTRONOMIJE

56. Sjaj i boja zvijezda

Skalu prividnih zvjezdanih veličina uveo je još Hiparh podijelivši po sjaju vidljive zvijezde na šest razreda. Zvijezda druge veličine je oko 2,5 puta slabija od zvijezde prve veličine, treće 2,5 puta slabija od druge i tako redom. 1856. godine Pogson je predložio da se uzme da je odnos sjaja dvije zvijezde, pri razlici od 5 zvjezdanih veličina, 100. Tada je odnos sjaja dvije susjedne zvjezdane veličine 2,512, što je lako neposrednim računom provjeriti. Ako je I_1 sjaj zvijezde koja ima zvjezdanu veličinu (magnitudu) m_1 , a I_2 sjaj zvijezde s magnitudom m_2 očito je da će se ta dva sjaja odnositi na sljedeći način:

$$\frac{I_1}{I_2} = 2,512^{(m_2 - m_1)}$$

Ukoliko obje strane te jednačine logaritmiramo dobićemo:

$$\log \frac{I_1}{I_2} = (m_2 - m_1) \log 2,512$$

odnosno

$$\log \frac{I_1}{I_2} = (m_2 - m_1) 0,4$$

Tačno je da smo na ovaj način postigli dogovor o zvjezdanim veličinama i njihovoj vezi sa sjajem zvijezda. Međutim, nama je potrebno da definišemo veličinu koja će moći služiti za obilježavanje sjaja zvijezde bez obzira na njenu udaljenost od posmatrača. Za razliku od prividne ovu ćemo magnitudu zvati apsolutna i definisaćemo je kao prividnu magnitudu koju bi zvijezda imala kada bi bila posmatrana sa udaljenosti od 10 parseka. Mogli ste primijetiti da se prividna veličina označava sa "m" uz koje stoji neki broj. Za apsolutnu magnitudu koristimo "M". Sjetimo se da je sjaj obrnuto proporcionalan kvadratu udaljenosti. Uzmimo da je I sjaj na udaljenosti r, a L sjaj koji bismo vidjeli na udaljenosti R. Tada vrijedi:

$$\frac{I}{L} = \left(\frac{R}{r} \right)^2$$

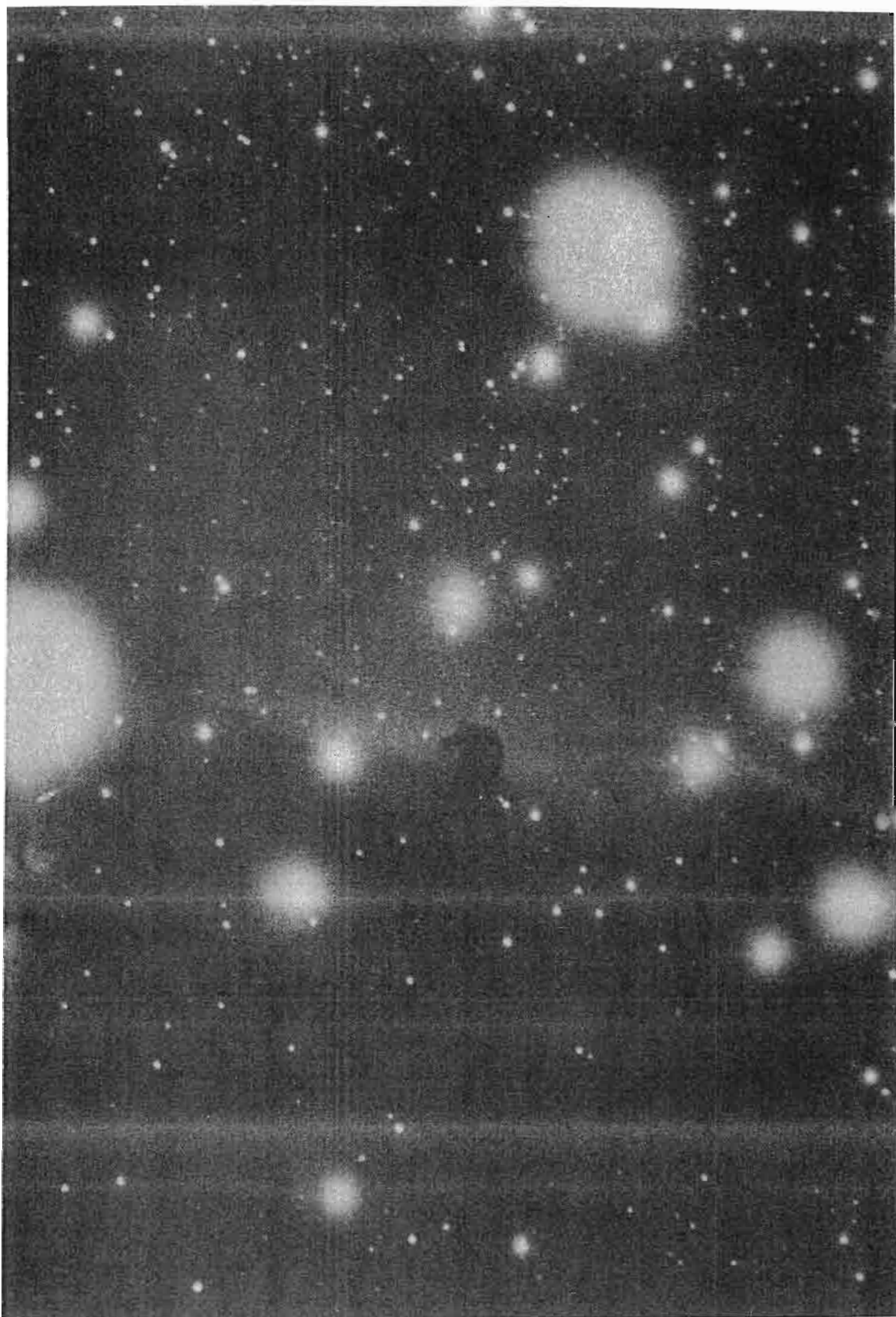
Dalje dobivamo:

$$\log \frac{I}{L} = 2 \log R - 2 \log r = 2 - 2 \log r$$

(Vrijednost R smo uzeli iz definicije apsolutne magnitude, to jest $R = 10$ ps.).

Ako dobijeni rezultat supstituiramo u desnu stranu jednačnosti, koja povezuje razliku magnituda i odnos sjajeva nakon sasvim elementarne transformacije, dobijemo formulu koja apsolutnu magnitudu izražava pomoću prividne udaljenosti:

$$M = m + 5 - 5 \log r$$



Fotografija br. 11 Tamna maglina Konjska glava u Orionu.

gdje je r izraženo u parsecima.

Svjetlost koja nam dolazi od zvijezde može biti putem oslabljena pod uticajem međuzvjezdane materije. Prividna veličina biće promijenjena za P . Tada imamo:

$$P = m_{\text{vidljivo}} - m_{\text{stvarno}}$$

$$M = m + 5 - 5 \log r - P$$

Do sada smo govorili stalno o zvjezdanim veličinama podrazumijevajući vizuelne zvjezdane veličine. Pošto je Sunce žuta zvijezda naše oko je najosjetljivije na žuti dio spektra. Pored vizuelne veličine, s obzirom na načine određivanja, prividna magnituda može biti fotografska (m_{pg}), fotovizuelna (m_{pv}), fotoelektrična (m_{ph}) i tako dalje.

Zbog različitih načina određivanja imamo i različite skale magnituda koje dozvoljavaju poređenje sjaja neke zvijezde u razlučitim svjetlostima. Već smo napomenuli da na vizuelnu magnitudu najveći uticaj ima žuta svjetlost. Ukoliko tu istu zvijezdu snimimo na foto-ploču na njenu magnitudu najviše će uticati plava svjetlost, pošto su foto-ploče upravo na takvu svjetlost najosjetljivije.

Razlika između magnituda neke zvijezde određenih dvjema bojama zove se kolor-indeks ili pokazatelj boje.

U starom međunarodnom sistemu taj termin označavao je upravo razliku fotografske i vizuelne magnituda (ili fotovizuelne, dobivene na foto-ploči kroz žuti filter):

$$CI = m_{pg} - m_v = m_{pg} - m_{pv}$$

Danas postoje foto-ploče osjetljive na razne oblasti elektromagnetskog spektra, pa su i nazivi u starom sistemu pomalo arhaični. U upotrebi je nekoliko sistema boja, ali najčešći je ipak standardni Johnsonov UBV - sistem.

B - V je nula za zvijezde spektralne klase A0, na primjer za Sirijus. Najplavlje zvijezde imaju neznatno negativan kolor-indeks, a najcrvenije veliki pozitivan. Za srednje crvene zvijezde iznosi oko 1,5 magnituda, dok za najcrvenije zvijezde može da dostigne + 6,5 magnituda.

Kolor-indeks je brojna mjera boje zvijezde, a zbog toga i njene spektralne klase, pod uslovom da se boja zvijezde ne mijenja pod uticajem prašine u međuzvjezdanim prostoru. Ako znamo spektralnu klasu neke zvijezde i ako je izmjereni kolor-indeks veći nego što bi se očekivalo kod zvijezda njene klase to upravo znači da je boja promijenjena zbog prisutnosti prašine na putu svjetlosti od zvijezde do posmatrača. Tada se određuje stvarni kolor-indeks $(B - V)_0$. Pored kolor-indeksa B - V moguće je odrediti i druge. Na primjer kolor-indeks U - B koristimo da uporedimo zračenje zvijezde u ultraljubičastom i plavom dijelu spektra.

Upoređivanjem kolor-indeksa sa bojom i spektralnom klasom iste zvijezde dobijemo tablicu:

57. S p e k t r a l n i t i p o v i z v i j e z d a

Sa zvijezda dopire elektromagnetno zračenje u vidu svjetlosnih, ultravioletnih, infracrvenih i radio

talasa, te X i γ -zraka. Ispitivanje tog zračenja je jedini put kojim se nešto više može saznati o fizikalnim svojstvima zvijezda s obzirom da se zbog toga do njih ne može putovati. Vidljivi dio elektromagnetnog zračenja, svjetlost, je razumljivo, prvi ispitan.

Svjetlosni talasi sa nekog vrelog čvrstog tijela, npr. obične sijalice, propušteni kroz prizmu davali bi sliku koja liči na dugu (crvena, narandžasta, žuta, zelena, plava i ljubičasta boja postepeno prelaze jedna u drugu). Takva slika se naziva spektar. U ovom slučaju je to neprekidan spektar. Daju ga još usijane tečnosti i gasovi pod pritiskom. Svjetlost koju emituju zagrijani gasovi pod malim pritiskom propuštena kroz uski pravougaoni prorez i prizmu davala bi spektar sastavljen od pojedinačnih sjajnih linija, od kojih je svaka druge boje, na tamnoj pozadini. Takav se spektar naziva emisijski spektar. Ako bi između udaljene sijalice (izvor neprekidnog spektra) i proreza sa prizmom stavili stakleni balon napunjen hladnim gasom dobili bismo spektar koji bi kao podlogu imao neprekidan spektar, a bio ispresjecan tamnim linijama. Takav spektar se naziva apsorpcijski spektar. Tamne linije bi bile na istim mjestima na kojima bi bile sjajne linije kada bi taj gas ugrijali toliko da da svoj vlastiti emisijski spektar.

Atomi na vrućim površinama zvijezda zrače, između ostalih, i svjetlosne talase. Ako se svjetlost zvijezda propusti kroz staklenu prizmu ili optičku rešetku i snimi dobiće se spektar zvijezde. On će biti kombinacija dva ili čak sva tri tipa spektra. To je zato što su zvijezde sačinjene od smjese gasova na raznim temperaturama i pritiscima

Dublji slojevi zvijezde koji su topliji i pod većim pritiskom daju neprekidan spektar. Na njega se superponira apsorpcioni spektar, jer su gasovi na samoj površini zvijezde relativno hladni i upijaju onaj dio spektra koji bi zračili da su zagrijani. Ako zvijezda izbacuje vreo gas na površinu mogu se javiti i emisione linije u spektru. Svaki prirodni element zrači ili apsorbira sebi svojstvene spektralne linije pa se u spektru zvijezda može prepoznati, a time i odrediti hemijski sastav zvijezde.

Različita boja zvijezda - od plave do crvene - uzrokovana je temperaturom spoljnih slojeva. Postoji veza između temperature T i talasne dužine λ_m svjetlosti koju neki izvor najintenzivnije zrači.

To je Wienov zakon:

$$T = \frac{0.29}{\lambda_m}$$

Npr. površinska temperatura od 6000°K prouzrokuje najintenzivnije zračenje u žutom dijelu spektra sa talasnom dužinom od oko 4800\AA .

Mnoštvo zvijezda na nebu zahtijevalo je nekakvu klasifikaciju zbog sistematičnijeg proučavanja. Jedna od mogućnosti je bila klasifikacija po boji, a kasnije po spektru. Oba pokušaja su počela prije nego što se upoznala prava priroda svjetlosti i uslova koji vladaju na površini zvijezde.

Talijan Secchi je sredinom prošlog vijeka napravio prvu grubu klasifikaciju zvijezda. Poredao ih je po boji u 5 kategorija. Preciznija posmatranja zahtjevala su vremenom i precizniju klasifikaciju. Upotrebom spektralne analize u astronomiji nakupio se ogroman posmatrački materijal koji je, krajem prošlog vijeka, klasifikovan na Harvardskoj opservatoriji pod rukovodstvom Pickeringa. Prvobitno je bilo 16 klasa označenih latiničnim slovima. Priroda spektralnih linija u to doba nije bila potpuno shvaćena, pa je u radu na klasifikaciji bilo lutanja. Naučnike je na pogrešan put odvodila ideja da glavna razlika u izgledu spektara dolazi od različitog hemijskog sastava zvijezde. Problem je, 1920. god. riješio indijski astrofizičar Saha povezujući izgled spektra sa temperaturom na površini zvijezde. Današnja klasifikacija sačuvala je elemente ranijih i sastoji se od 7 normalnih spektralnih tipova označenih velikim slovima latinice O B A F G K i M od kojih svaki sadrži deset grupa označenih brojevima od 0 - 9, npr. O6. Osim toga postoje još 4 tipa zvijezda koji ne spadaju u normalne tipove. To su W, R, N i S. Obično se za supergigante još dodaje oznaka s, za gigante g i za patuljke d. Oznaka spektralnog tipa sO4 znači da je zvijezda supergigant tipa O4.

W	R - N
O B A F G - K - M	
	S

Ovakva klasifikacija je linearna što znači da izgled spektra zavisi uglavnom samo od jedne veličine, temperature, tj. da se spektri bliskih grupa malo razlikuju pa je prelazak sa

jednog spektra na drugi neprekidan. Tako postojanje linije kalcijuma u spektru jedne zvijezde, a nepostojanje u spektru druge, ne znači da u ovoj drugoj kalcijuma uopšte nema. Može se desiti da je u njoj kalcijum zbog više temperature jonizovan pa mu se linije u spektru ne poklapaju sa linijama neutralnog kalcijuma. Hemijski sastav, pritisak, magnetno polje itd. utiču na izgled spektra, ali je uticaj temperature daleko dominantniji nego svi ostali uticaji zajedno.

Ako se u spektru pored apsorpcionih linija javljaju i emisione linije dodaje se slovo e, npr. A6e. Bilo kakva specifičnost u spektru koja nije u saglasnosti sa spektralnim tipom zvijezde označava se slovom p (peculiar - engl. neobično). Postoje metalima bogate zvijezde čiji bi se spektar bez linija metala mogao klasifikovati kao npr. A, a uzimajući samo linije metala, kao npr. F. Takav spektar se onda označava sa Am. Dat je shematski prikaz spektralne klasifikacije zvijezda. Temperature rastu s desna na lijevo.

Spektralni tip	Boja	Temperatura na površini	Spektar
W	-	-	Kao tip O uz široke emisione linije
O	plava	30 000°K	Apsorpcione linije jonizovanog helijuma
B	plavo-bijela	15-30000°K	Apsorpcione linije neutralnog helija, jonizovanog silicija i kisika. Javlja se vodonik.
A	bijela	10-15000°K	Vodonik najjače izražen. Jonizovani metali, H i K linije jonizovanog Ca.
F	bijelo-žuta	7-10000°K	Jače izražene linije metala i H i K linije jonizovanog kalcija.
G	žuta	5-7000°K	Još jače izražene H i K linije. Mnoštvo linija metala. H još uočljiv.
K	narandžasta	4-5000°K	H i K linije najjače izražene. Još više linija metala.
M	crvena	3-4000°K	Molekularni spektri prevladavaju (titanov oksid) i linije neutralnih metala.

R	-	-	Odgovara tipu K samo ima trake C molekula umjesto titanovog oksida.
N	-	-	Odgovara tipu M samo ima trake C molekula umjesto titanovog oksida.
S	-	-	Isto. Trake cirkonijum oksida umjesto titanovog oksida.

58. Hertzsprung - Russell - o v d i j a g r a m

Nekada se smatralo da su temperatura, masa i veličina zvijezde uvijek proporcionalne sa sjajem. Kada su otkriveni bijeli patuljci uvidjelo se da ta slika nije sasvim tačna. Boja i temperatura ostale su jednoznačno povezane, ali magnituda više nije morala da bude njima uslovljena, odnosno proporcionalna. Hertzsprung dolazi do zaključka da postoje dvije vrste crvenih zvijezda. Nešto kasnije do istog tog zaključka dolazi i Russell.

1908. Hertzsprung je izradio dijagram koji pokazuje vezu zvjezdanih veličina i pokazatelja boje, a 1913. Russell povezuje na dijagramu sjaj i spektar zvijezda. Ti dijagrami napravljeni su na osnovu posmatranja i mjerenja zvijezda iz okoline Sunca, prvenstveno zato što je mogla da im se odredi apsolutna magnituda.

Pošto se u oba slučaja u biti radi o dijagramu koji povezuje količinu izlučene energije sa površinskom temperaturom zvijezde za sve takve dijagrame koristimo naziv Hertzsprung-Russell -ov dijagram (H-R dijagram). Na H-R dijagramu je zavisnost od temperature, spektralne klase ili boje nanesena kao funkcija apsolutne zvjezdane veličine. Zvijezde, odnosno tačke kojima su predstavljene, nisu ravnomjerno raspodijeljene po dijagramu, već su u pojedinim njegovim dijelovima grupisane u nizove.

Većina zvijezda se okuplja u traci koja ide dijagonalno niz cijeli dijagram. Opada duž spektralnog niza od apsolutne magnitūde - 3 za B zvijezde do + 10 za M zvijezde, ne prekidajući se. Ova grupa zvijezda poznata je kao glavni niz. Naše Sunce je takođe zvijezda glavnog niza. Pripada spektralnoj klasi G2 i ima apsolutnu magnitudu +4,8. Oko sto puta je sjajnije od hladne crvene zvijezde niza i isto toliko puta manje svijetlo od vruće plave zvijezde. Iznad glavnog niza su sasvim svijetle zvijezde koje se dijele u tri grupe. Grupu jako sjajnih zvijezda, kao što su Kapela, Aldebaran i Arktur, nazivamo giganti. Njihov sjaj stotine puta premašuje sjaj zvijezda iste spektralne klase koje se nalaze na glavnom nizu. Iako imaju istu temperaturu kao i ove, svjetlije su zato što su mnogo veće. Giganti pripadaju spektralnim klasama od G do M, a mogu se naći i u klasama R, N i S.

Rijetko razbacane tačke u gornjem dijelu dijagrama, iznad grupe giganata, predstavljaju vrlo velike i svijetle gigante. Ove zvijezde po sjaju premašuju Sunce 300 do 100 000 puta, a nazvane su super-giganti. U ovu grupu spadaju zvijezde poput Betelgeza, Rigela i Deneba. Treća grupa vrlo svijetlih zvijezda nalazi se između giganata i zvijezda glavnog niza spektralnih klasa F, G i K.

Objekti ove, prilično brojne grupe, takozvani subgiganti, često se javljaju kao članovi pomračujućih dvojnih sistema.

Kao druga krajnost javljaju se bijele zvijezde slabog sjaja koje se nalaze sasvim ispod glavnog niza. Budući da je sjaj ovih vrlo vrućih zvijezda slab samo zbog toga što im je i površina mala zovemo ih bijeli patuljci. Prvi otkriveni bijeli patuljak je zvijezda-pratilac Sirijusa.

Od bijelih patuljaka naviše, sasvim uspravno, lijevom stranom H-R dijagrama pruža se još jedan vrlo interesantan niz. Nazvan je bijelo-plavi niz, zato što sadrži najtoplije zvijezde bijele i plave boje, spektralne klase O.

Kao što smo već rekli, H-R dijagram stvoren je na osnovu posmatranja zvijezda iz okoline Sunca. Pošto tu ima zvijezda raznih vrsta, možemo smatrati da u dobroj mjeri opisuje položaje zvijezda na H-R dijagramu. Neke karakteristične oblasti neba ili skupovi zvijezda mogu imati dijagrame različite od ovog na slici. Takvi dijagrami nam mnogo govore o sastavu i evoluciji skupa za koji je dijagram napravljen.

59. E v o l u c i j a z v i j e z d a

Dugogodišnjim posmatranjem zvijezda, proučavanjem njihovih fizičkih osobina kao i stvaranjem teorijskih modela zvijezda, nauka je danas u stanju da objasni najveći dio životnog puta zvijezda, od njihovog rođenja do smrti.

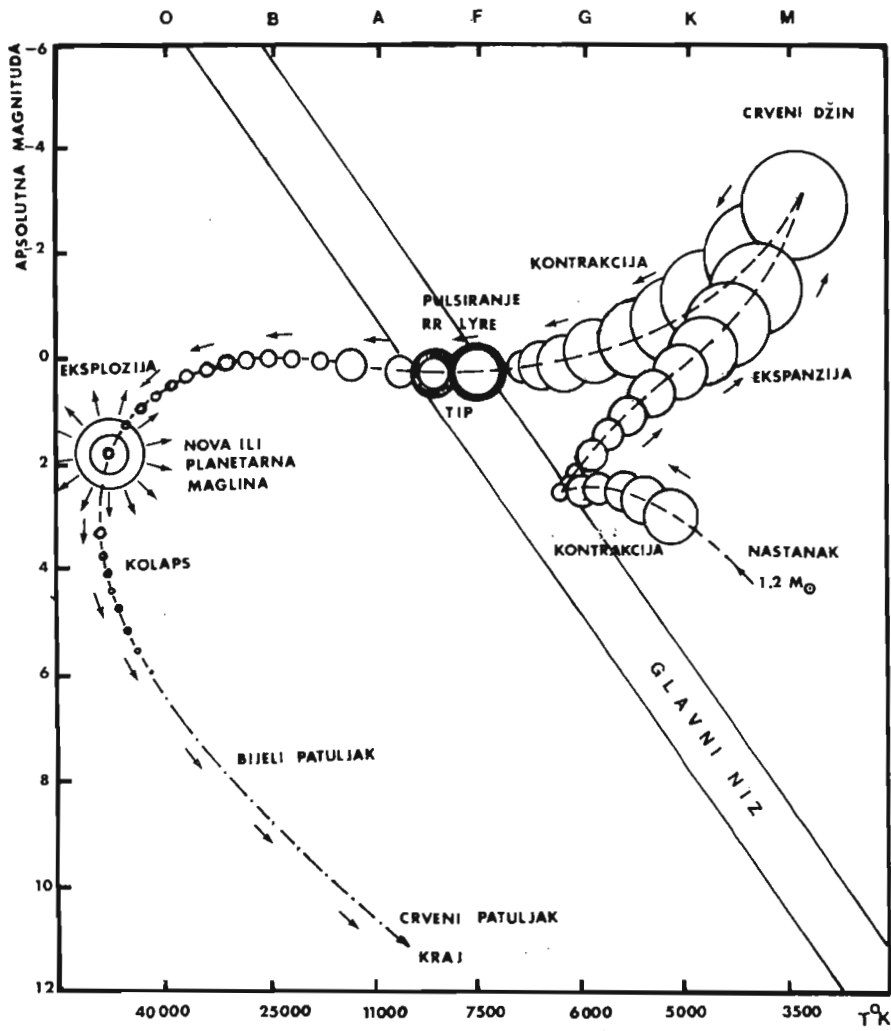
Zvijezde nastaju u grupama, u velikim oblaci-
ma međuzvjezdanog gasa i prašine, u galaktičkoj ravni spi-
ralnih galaksija. Oblaci se skupljaju pod djelovanjem gra-
vitacije i udarnih talasa koji se kreću galaksijom. Gusto-
ća gasa i prašine nije svugdje jednaka pa se unutar obla-
ka javljaju oblasti veće i manje gustoće. Gušće oblasti se
pod vlastitom gravitacionom silom skupljaju to brže što
im je početna masa veća. Kada se svojom većom gustoćom
razlikuju od okoline nazivaju se protozvijezde.

Što se protozvijezda više skuplja to se nje-
na unutrašnjost više grije. Kada joj temperatura jezgra
dostigne 100000°K , a vanjskog sloja $1000-2000^{\circ}\text{K}$, postaje vi-
dljiva i njen dalji razvoj se može pratiti na H-R dija-
gramu. Tek kada joj se temperatura jezgra popne na 10 mili-
ona stepeni počinju nuklearne reakcije- fuzija vodonika u
helijum. Nastaje zvijezda na glavnom nizu H-R dijagrama.
Uspostavlja se ravnoteža između gravitacione sile koja te-
ži da skupi zvijezdu i pritiska zračenja koji teži da je
raširi. Sa ove dvije najvažnije sile u ravnoteži zvijezda
počinje najmirniji i najduži period u svom životu lagano
pretvarajući vodonik u helijum.

Mase protozvijezda	Trajanje grav. skupljanja
20 M_{\odot}	$3 \cdot 10^4$ god.
3 M_{\odot}	$2 \cdot 10^6$ god.
1 M_{\odot}	$5 \cdot 10^7$ god.
0.6 M_{\odot}	$2 \cdot 10^8$ god.
0.2 M_{\odot}	10^9 god.

Nakon utroška vodonika u jezgru prestaje da radi izvor energije i jezgra pod djelovanjem gravitacije kolapsira, dok vanjski dijelovi povećavaju dimenzije, postaju hladniji i crveniji. Zvijezda se udaljava od glavnog niza ka desnom gornjem uglu H-R dijagrama, u oblast crvenih džinova. Dalji put u razvoju zvijezde zavisi pogotovu od njene početne mase. Zvijezde sa masom veličine sunčeve i nešto manjom su najčešće i njihov dalji razvoj je sličan razvoju Sunca, pa je dovoljno reprezentativno za čitavu klasu vidjeti kako će se Sunce razvijati. Zvijezde manje masivne od Sunca će ovaj put proleziti sporije, a zvijezde masivnije od njega brže.

Sunce je nastalo prije 4,5 milijarde godina i nalazi se malo iznad glavnog niza na H-R dijagramu. Polovinu života je već na njemu provelo. Nakon još 4,5 milijarde godina sav vodonik u jezgru pretvorit će se u helijum i jezgro će mu se ugasiti. Tada će biti za četvrtinu veće nego danas, a sjaj će mu biti 50% veći. Sa mrtvim jezgrom od helijuma koje se nastavlja skupljati, Sunce će se i dalje širiti da bi, nakon još milijardu godina, bilo 100 puta veće nego danas i 1000 puta sjajnije. Temperatura na površini će mu biti 3500°K i biće pravi crveni džin. Gustoća će mu biti vrlo mala, uporedljiva sa dobrim laboratorijskim vakuumom. Kada mu se jezgro dovoljno skupi da počne helijum da se spaja u izotop berilijuma, koji spajanjem sa novim jezgrom helijuma može preći u stabilni ugljik, temperatura će mu se povećati i Sunce će se početi vraćati na glavni niz H-R dijagrama. Do njega neće stići jer će se sav helijum ranije pretvoriti u ugljik i jezgro će ponovo se ugasiti. Sunce će po drugi put postati crveni džin.



Slika 58.1. Evolucija zvijezde 1,2 M_⊙ na H-R dijagramu

Dalji razvoj događaja može teći u dva pravca. Spoljni omotač može biti odbačen sa Sunca u okolni prostor. Na mjestu zvijezde ostaće jezgro plavičaste boje zbog visoke temperature. Materija u njemu je, zbog velikog pritiska, u degenerisanom stanju. Nastao je bijeli patuljak sa planetarnom maglinom. Vijek planetarne magline nije dug, svega nekoliko desetina hiljada godina, jer se gasoviti prsten vremenom toliko udalji od centralne zvijezde da nije vidljiv.

Može se, pak, desiti da crveni džin postepeno gubi masu u okolni prostor dok se jezgro skuplja. Tada bi nastao bijeli patuljak bez planetarne magline. On bi se sporo hladio zračenjem, da bi postao crveni patuljak i na kraju nestao iz vida kao hladni "crni patuljak". Ovako hladne zvijezde nisu opažene, a nisu ni mogle biti jer svemir još nije dovoljno star da bi se bijeli patuljci stigli ohladiti do te mjere. Povratka iz faze "crnog patuljka" nema te bi se tu ujedno i završio životni put Sunca i najvećeg broja zvijezda.

Ako je bijeli patuljak u dvojnog sistema može se desiti da se pretvori u novu zvijezdu. To bi se desilo u slučaju da materija sa pratioca počne oticati na bijelog patuljka - privučena njegovim jakim gravitacionim poljem. Kako mu je temperatura na površini visoka pri kontaktu sa njom, u gasu koji dotiče bi trenutno počele nuklearne reakcije. To bi se manifestovalo kao blijesak nove. Blijesak se može pojaviti samo jedanput ili se periodično ponavljati - zavisno od načina oticanja mase sa pratioca.

Zvijezde sa većom masom od sunčeve mnogo brže prolaze kroz sve faze života od samog nastanka, a posljednje dane provode mnogo burnije. One postaju crveni supergiganti, a nuklearne reakcije im se odvijaju sve dok u jezgru ne nastane gvožđe. Gvožđe ima osobinu da upija energiju zbog čega se

jezgro brzo ohladi i skupi. Strahovito brzom imploziji jezgra slijedi reakcija - eksplozija pri čemu polovina ukupne mase zvijezde odleti u svemir. Proces je izrazito bučan i naziva se eksplozija supernove zvijezde. Pri eksploziji u jezgru mogu nastati i elementi teži od gvožđa. Danas se smatra da su svi elementi teži od helijuma tako i nastali, što znači da i naše porijeklo treba tražiti u nekoj davnoj eksploziji supernove. Prilikom eksplozije pritisak na jezgro je toliko veliki da se atomi u njemu lome, a elektroni utiskuju u protone stvarajući neutrone. Jezgro se pretvara u neutronska zvijezdu ili pulsar sa masom približno jednakom masi Sunca i prečnikom od svega desetak kilometara.

Pri eksploziji vrlo masivnih supernovih, kada nakon eksplozije preostane jezgro preko 3 puta teže od Sunca, skupljanje se nastavlja i iza faze neutronske zvijezde da bi nastao, za sada još hipotetičan objekat, tzv. crna jama.

60. P r a š i n a u m e đ u z v j e z d a n o m p r o s t o r u

Iskoristićemo priliku da izložimo i neka opšta svojstva međuzvezdane materije. Prostor između zvijezda prazan je čak i kada se poredi s vakuumom iz zemaljske laboratorije, ali kada se uzme u obzir veličina tog prostora jasno je da materija koja se u tom prostoru nalazi može da igra značajnu ulogu.

Takva materija može da zrači, zagrijana od okolnih zvijezda, tako da vidimo sjajne oblake.

Takva materija može da zrači i u radio-dijapazonu elektromagnetskog spektra. S druge strane, oblak međuzvezdane materije može da bude dovoljno gust da zakloni neku oblast neba, tako da mi ne vidimo zvijezde koje bismo, da tog oblaka nema, vidjeli na tom mjestu. To je i razlog što ne možemo da vidimo galaktički centar, bar ne u vidljivoj svjetlosti.

I kada nije dovoljno gusta da nam zakloni neku oblast neba ta materija može da promijeni boju zvijezda koje posmatramo. Prema toj promjeni boje mi možemo da donosimo zaključke kako o prirodi međuzvezdane materije tako i o udaljenosti do zvijezde čiju je boju prolazak svjetlosti kroz međuzvezdanu sredinu promjenio.

Ukupna masa međuzvezdane materije u Galaksiji od određuje se pomoću računa smetnje. Prvo se proračunava putanja neke zvijezde oko galaktičkog središta, a onda se procjenjuje u kojoj mjeri su odstupanja od proračunate putanje posljedica djelovanja okolne materije. Prašina i gas su raspoređeni uglavnom oko galaktičke ravni, pa se pokazuje da pod njihovim gravitacionim uticajem zvijezde vrše mala oscilatorna kretanja normalna na galaktičku ravan.

Međuzvezdana materija ima jednu vrlo zanimljivu osobinu koja postaje sasvim očita kada se i kroz slabiji teleskop pogleda na Orionovu maglinu. Vidi se da se materija od koje je maglina sastavljena oblikovala u raznovrsne oblake i rukave.

Pogledajmo odakle znamo da u međuzvezdanom prostoru ima prašine. Možemo odrediti temperaturu, boju i spektralni tip neke zvijezde. Te veličine povezane su preko H-R dijagrama sa magnitudom. Taj dijagram ima karakterističan oblik.

Ukoliko zvijezda ima neku drugačiju boju nego što mi to, na osnovu saznanja o vezi boje i sjaja, očekujemo, možemo

s pravom pretpostaviti da se ta boja promijenila usljed rašpršenja na nekim česticama. Sličnu pojavu susrećemo gotovo svakodnevno. Nebo je plavo zato što se plava svjetlost raspršuje u atmosferi više od crvene, tako da raspršena plava svjetlost daje boju neba, a Sunce je, kada izlazi i zalazi, izrazito crveno.

Kada bi uzrok promjene boje zvijezda bilo raspršenje na molekulama, kakvo imamo u atmosferi, one bi bile mnogo crvenije nego što izgledaju. Tako se pokazuje da se svjetlost koja nam stiže od zvijezda raspršuje upravo na česticama prašine i to, prema nekim procjenama, veličine od 0,02 do 0,00002 milimetra.

61. G a s u

međuzvjezdanoj
sredini

U odjeljku o galaktičkoj strukturi spomenuli smo istraživanja raspodjele neutralnog vodonika u Galaksiji koja se vrše pomoću radio-teleskopa. U ovom odjeljku razmotrićemo detaljnije zašto neutralni vodonik u međuzvjezdanoj sredini zrači na toj frekvenciji, kako se na osnovu tog zračenja ispituje brzina gasnih oblaka i tako dalje.

Počnimo od toga da vidimo kako to da neutralni vodonik zrači na talasnoj dužini od 21 cm. Zna se da kvantnomehanički sistemi (atom, molekula i sl.) zrače strogo određene porcije energije kada prelaze iz jednog stanja u drugo. Atom vodonika može da bude u dva vrlo bliska energetska stanja takva da je razlika u energiji vrlo mala.

Ako je atom u jednom od tih stanja i ako je prepušten sam sebi može proći i nekoliko miliona godina prije nego što atom promijeni stanje i ispusti kvant elektromagnetskog zračenja sa talasnom dužinom od 21 cm. Zato mi ne možemo to zračenje da primijetimo na Zemlji. Međutim, u galaktičkom disku ima vrlo mnogo atoma, dovoljno da ih radio-teleskop primijeti. Što je talasna dužina zračenja veća, sredina ga manje apsorbira, pa je na toj frekvenciji moguće istraživati čitavu Galaksiju.

Posmatranja i proračuni omogućili su stvaranje dvokomponentne teorije međuzvezdanog gasa. Gustina prve komponente je 10 do 100 atoma na cm^3 i temperatura do 10^6 K. Druga komponenta je mnogo toplija i manja joj je gustina (10 000 K i prosječno 1 atom na cm^3). Gas unutar spiralnih krakova sastoji se od obje komponente, a između njih od vruće. Ovo posljednje znači da usamljeni atomi putuju velikim brzinama u praznom prostoru između krakova.

Razmotrimo detaljnije postupak određivanja brzine gasa na osnovu Dopplerovog efekta za zračenje vodonika na frekvenciji od 1420,4 MHz (drugim riječima na talasnoj dužini od 21 cm), opisani u odjeljku o galaktičkoj strukturi.

Zračenje samog neutralnog vodonika je upravo na toj frekvenciji (slika 58a). Međutim radio-teleskop ne registruje zračenje jednog atoma, već velikog kolektiva čestica od kojih svaka (svaki atom) ima neku svoju brzinu kretanja. Riječ je o haotičnom kretanju koje karakteriše temperaturu oblaka. (Jedna od definicija temperature je "srednja kinetička energija haotičnog kretanja čestica".)

Kako je to kretanje haotično, možemo uzeti da se otprilike isti broj atoma kreće od nas i prema nama. Dolazi do širenja linije (slika 58b).

Pošto se sam oblak kreće u prostoru, učestvujući u rotaciji

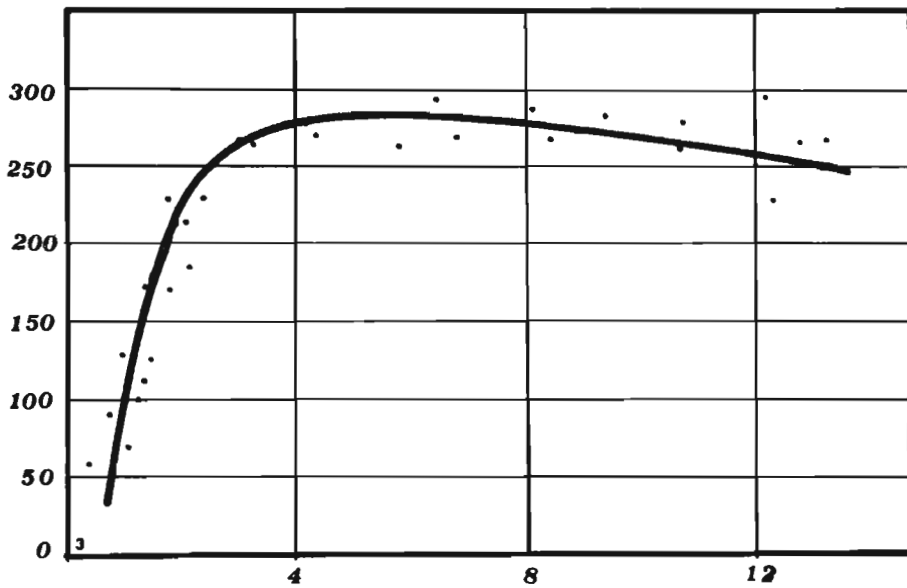
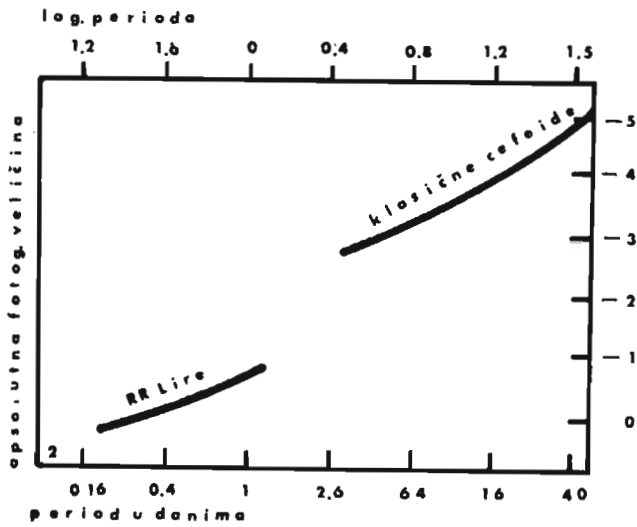
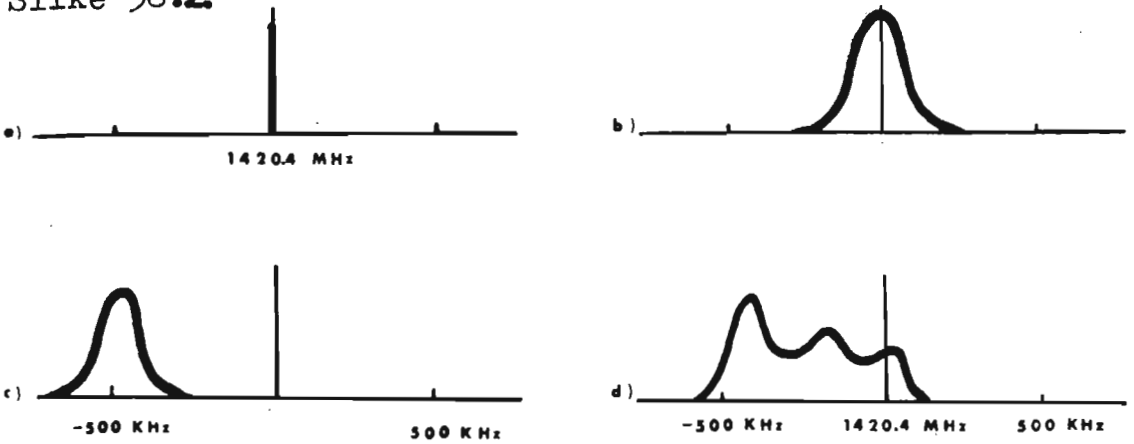
Galaksije i krećući se nekom svojom trajektorijom, sve talasne dužine se pomjeraju (slika 58c).

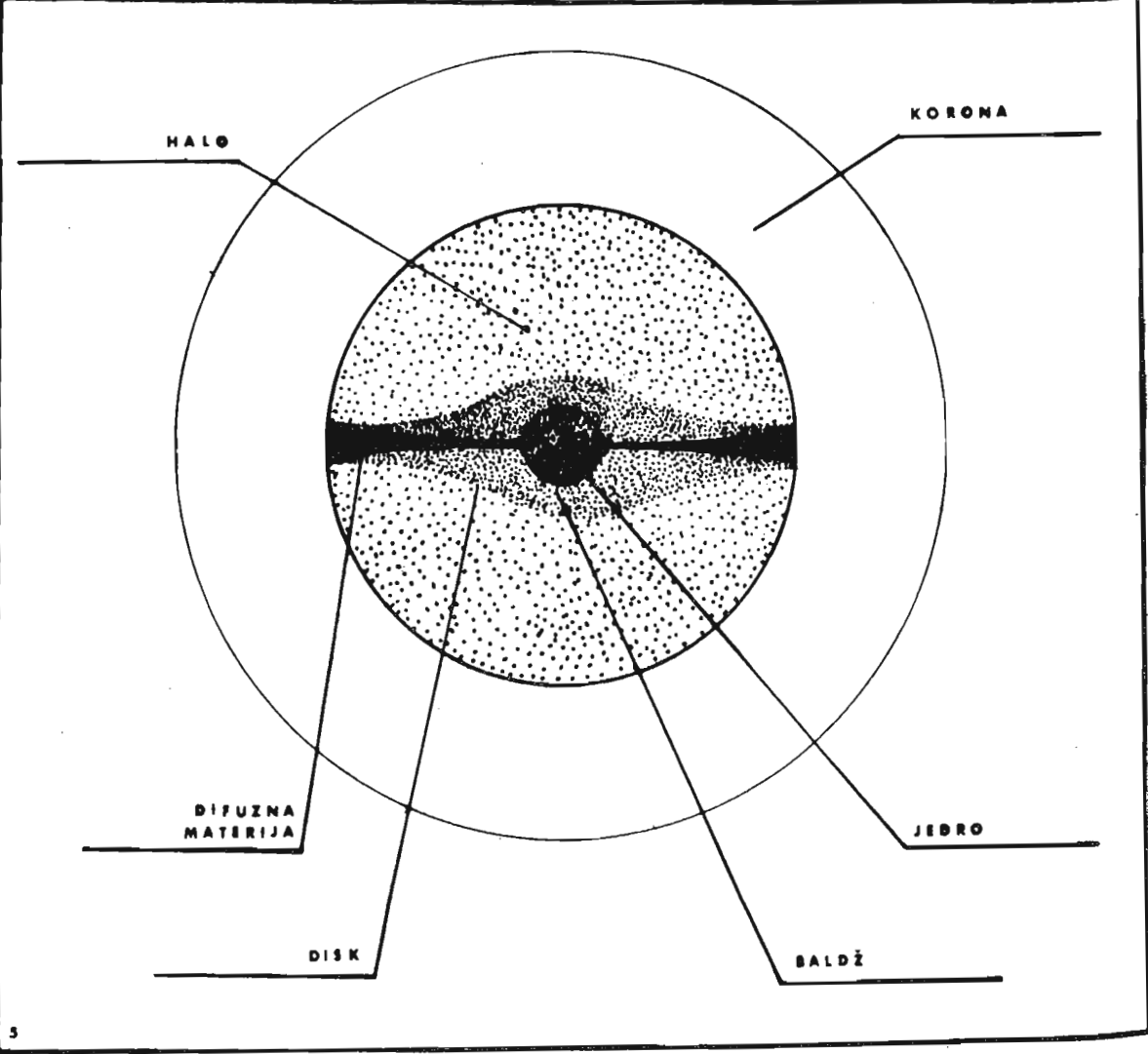
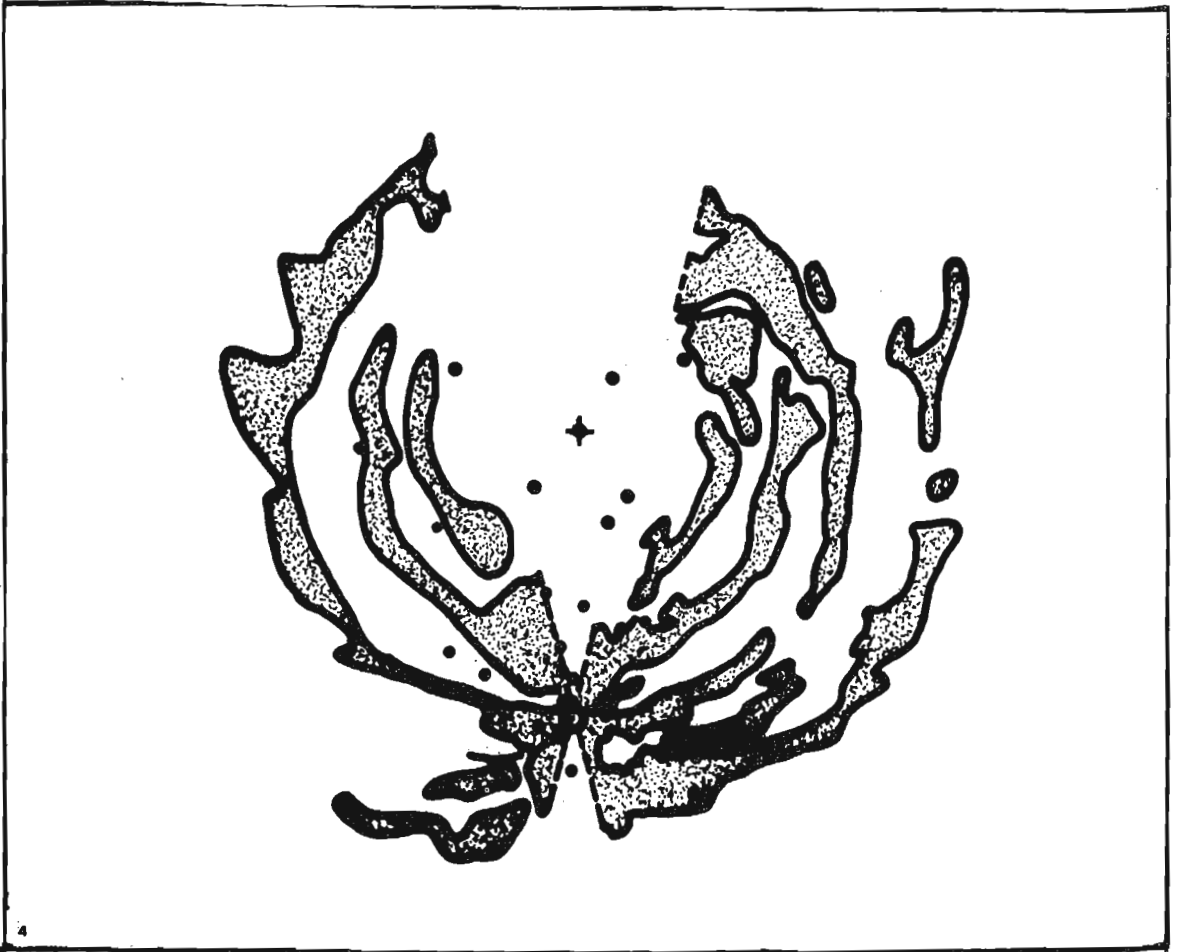
Ako imamo posla s više oblaka zavisnost jačine signala od frekvencije može da izgleda kao na slici 58d.

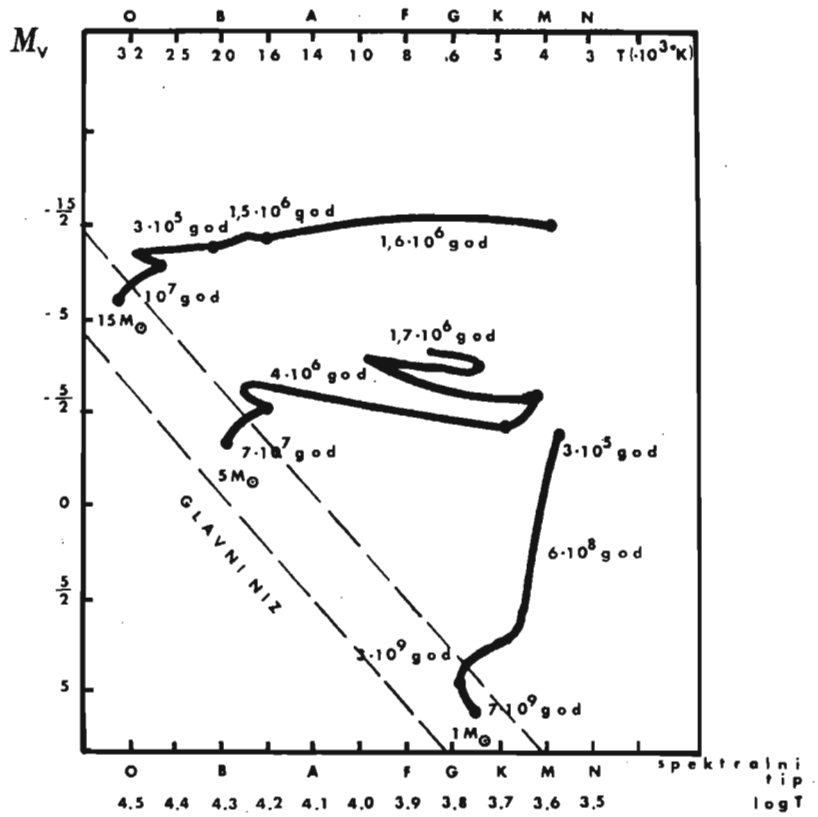
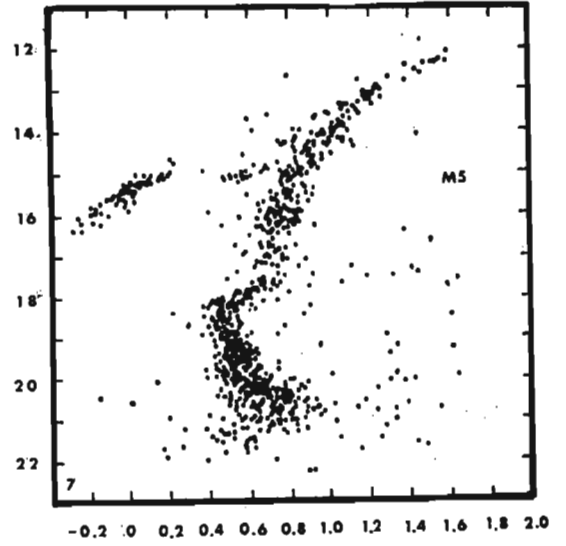
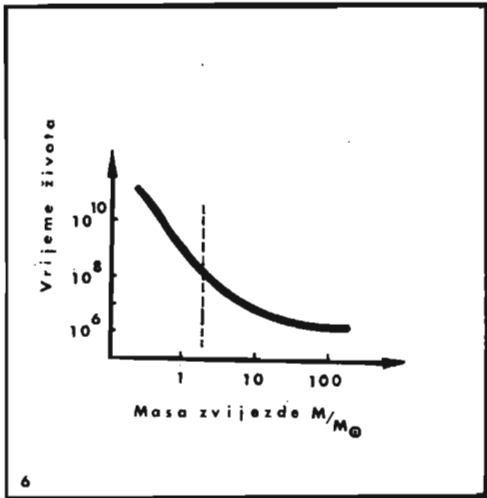
Pored zona HI, zona neutralnog vodonika, postoje u našoj Galaksiji i zone HII. Jonizovale su ga mlade zvijezde spektralnih klasa O i B. U tim oblastima temperature su 5 do 10 hiljada kelvina. Vidimo da su te oblasti toplije od površine Sunca.

Međuzvezdani gas je tipičan za populaciju diska i igra vrlo važnu ulogu u procesu formiranja zvijezda koji, po svemu sudeći, i danas traje u Galaksiji.

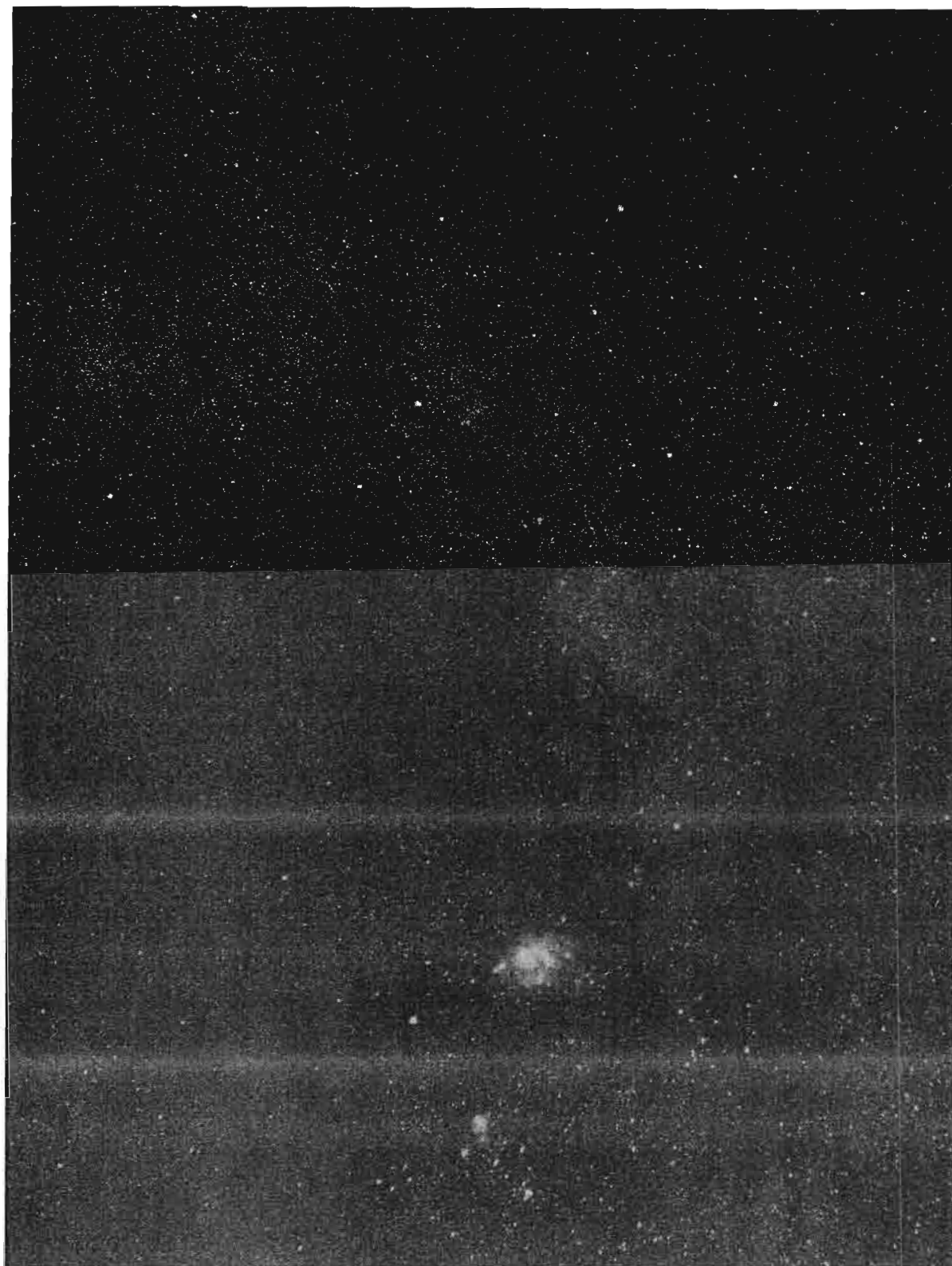
Slike 58.2







Slika 59.



Fotografija br. 12. Predio neba u pravcu središta Galaksije. Vidljivo je nekoliko sjajnijih maglina i zvjezdanih skupova.

62. Galaktička struktura

Kada posmatramo nebo možemo da primijetimo da zvijezde na njemu nisu sasvim ravnomjerno raspoređene po nebeskom svodu. Svakako da je provjeravanje jednolikosti rasporeda zvijezda na nebu bio vrlo zanimljiv zadatak. Kada su teleskopi postali dovoljno jaki otkriveno je da je i Mliječni put, odnosno Kumova slama, tvorevina sazdana od zvijezda. Sve to bilo je dovoljno da se dođe do zaključka da se nalazimo u nekom izdvojenom zvjezdanom sistemu. To saznanje dugujemo Heršelu.

Moramo da priznamo da su se ideje o određenoj hijerarhijskoj strukturi svemira pojavile pola vijeka ranije, u Lambertovom radu u kojem je izložena sama "hijerarhijska hipoteza", prema kojoj bi morao postojati neki viši nivo organizacije od planetarnog sistema zvijezde. Odatle jedino možemo da zaključimo kako je početkom prošlog stoljeća već bio pripremljen teren za spoznaju o izdvojenosti zvjezdanog sistema u kome se nalazi Sunce.

Naš cilj je da razmotrimo strukturu tog sistema; problem je "samo" u tome što se mi nalazimo unutar njega, pa ga i ne možemo vidjeti sa strane i tako odmah saznati kako izgleda. Na osnovu onog što smo dosada rekli ostaje nam samo da potražimo da li na nebu postoji nešto što bi nam omogućilo pronalaženje oblika bar dijela tog sistema. Pošto su prema Mliječnom putu zvijezde koncentri-

sane više nego u ostalim oblastima neba nije neopravdana nada da ćemo na taj način nešto otkriti. Takva istraživanja nam zaista pokazuju da postoji ravan u prostoru u odnosu na koju nije neopravdano smatrati naš zvjezdani sistem simetričnim.

Ipak, da li je moguće pogledati Galaksiju izvana? Našu, svakako, ne možemo. Druge možemo. Bilo je potrebno jedino to da se otkrije postojanje drugih galaksija. Početkom ovog stoljeća Hubble je definitivno ustanovio da su mnoge od svijetlih mrlja na nebu, koje su unesene u kataloge da ne otežavaju pronalaženja kometa, ustvari golemi zvjezdani sistemi slični onom u kome sami živimo.

Otkriće galaksija povlačilo je za sobom i njihovu klasifikaciju. Ono je probudilo saznanja o našoj Galaksiji i dalo određen smjer istraživanju njene strukture.

Tako mi danas, iako zbog oblaka tamne materije koji nam zatvaraju vidiku nekim smjerovima, ne vidimo centar naše Galaksije, možemo sa sigurnošću reći da se nalazimo u jednoj spiralnoj ili sličnoj spiralnoj galaksiji.

Važno je da pogledamo kako se saznaju udaljenosti do zvijezda i skupova koje su svakako neophodne da bismo mogli informaciju dobivenu posmatranjem raznih dijelova nebeskog svoda prostorno interpretirati.

Prvo ćemo izvršiti malu ekskurziju u oblast promjenljivih zvijezda, a to su sve one čiji se vidljivi sjaj dovoljno brzo mijenja. One od njih koje imaju pravilnu promjenu sjaja dijele se na više grupa. Jedna od tih grupa su i klasične cefeide. Takve zvijezde za nekoliko dana mijenjaju sjaj i za čitavu zvjezdanu veličinu, što je vrlo mnogo. Sretna je okolnost što postoji veza između perioda i sjaja takve zvijezde.

1910. saradnica Harwardske opservatorije H. Livitt prona-

šla je tu vezu istražujući klasične cefeide Malog Magelanovog oblaka. Mali Magelanov oblak je galaksija-satelit Mliječnog puta, pa se može smatrati da su sve zvijezde koje se u njemu nalaze podjednako od nas udaljene. To je potpuno razumljivo pošto su razmjere samih galaksija sigurno zanemarive u poređenju sa međugalaktičkim udaljenostima. Ukoliko su cefeide posmatrane u toj galaksiji tipični predstavnici klasičnih cefeida mi bismo mogli odrediti udaljenost do bilo koje takve zvijezde u našoj galaksiji ukoliko bismo znali udaljenost bar do jedne. Ta udaljenost nije mogla biti direktno određena zato što su sve one vrlo udaljene, suviše da bi se mogla izmjeriti paralaksa. Pomoću prilično složenih indirektnih razmatranja ustanovljeno je da periodu od deset dana odgovara apsolutni sjaj $-3,5^m$. I neke druge grupe promjenljivih zvijezda posjeduju slične zavisnosti, međutim zavisnost se razlikuje od grupe do grupe, što je svojevremeno dovodilo do grešaka u određivanju udaljenosti. Dakle, pored samog određivanja perioda, bitno je da se zna i o kakvoj se zvijezdi radi. Danas su poznate udaljenosti do mnogih objekata u Galaksiji i van nje. Iako određivanje pomoću veze perioda i apsolutnog sjaja nije jedini metod saznavanja udaljenosti njemu možemo da pripišemo osnovnu ulogu u prijelazu sa stanja kada je određivanje udaljenosti pomoću paralakse bilo sve što je astronomija u tom smislu znala na današnje stanje kada možemo razmatrati ne samo strukturu galaksije već i sisteme koji sadrže mnoštvo galaksija i na određen način čitav svemir.

dijagram logaritama perioda - apsolutni sjaj klasične cefeide i RR Lire iz "Astronomije" M.M.

Radioastronomija, ta relativno mlada sestra optičke astronomije (relativno zato što ima i mnogo mladih), ubrzo je postala ključna u istraživanjima galaktičke strukture. To se posebno odnosi na registrovanje zračenja neutralnog vodonika na talasnoj dužini od 21 cm. Vrlo zanimljivo pitanje zašto neutralni vodonik može da zrači na toj talasnoj dužini ostavljamo za odjeljak o gasu u Galaksiji. Premda je kosmičko radio-zračenje uglavnom posljedica kretanja brzih elektrona u magnetnim poljima Galaksije, najvažniju informaciju dobivamo na osnovu pomenutog zračenja na talasnoj dužini od 21 cm. To zračenje nam omogućuje da saznamo i gdje se otprilike gas koji zrači nalazi. Objasnimo detaljnije kako.

Kao što je poznato rotacija tijela je vrlo česta pojava u kosmosu. Zemlja rotira oko svoje osi, obilazi jednom godišnje Sunce koje se i samo vrti, a pored toga kreće se nekom putanjom oko galaktičkog centra, tačnije oko centra masa Galaksije. Pošto objekti od kojih je Galaksija sastavljena rotiraju oko galaktičkog centra možemo reći da Galaksija rotira, i to ne kao čvrsto tijelo već prema zakonima gravitacionog privlačenja kao i drugi sistemi masa u svemiru. Ipak, to kretanje se nešto razlikuje od onog kakvo ima, na primjer, Zemlja kad rotira oko Sunca, u prvom redu zato što tu mnogo više djeluje privlačenje između objekata koji obilaze centar nego što je to slučaj kod našeg planetskog sistema. Pogledajmo tipičnu krivu rotacije neke galaksije. Ona nam pokazuje raspodjelu brzina dijelova sistema s obzirom na udaljenost od centra.

Oblaci gasa koje istražujemo takođe učestvuju u rotaciji Galaksije. Prema tome oni imaju određenu brzinu u odnosu na posmatrača koji se nalazi na Zemlji. Kao što se vidi sa prethodne slike objekti različito udaljeni od centra imaju različite brzine, pa relativna brzina između nas i takvog oblaka svakako postoji. Zbog toga će se moći primijetiti odstupanje zračenja od talasne dužine 21 cm. Dolazi do Dopplerovog efekta, talasna dužina koju prijemnik registruje na zemlji je veća ili manja od talasne dužine na kojoj izvor emituje, u zavisnosti od toga da li nam se izvor zračenja približava (tada je manja) ili se od nas udaljava (tada je veća). Dobivši na taj način brzinu i iskoristivši teoriju galaktičke rotacije možemo saznati gdje se taj neutralni vodonik nalazi.

Napomenimo da se rotacija drugih galaksija istražuje takođe pomoću Dopplerovog efekta, samo za svjetlosno, a ne radiozračenje. Teorija galaktičke rotacije izgrađena je upravo na osnovu takvih istraživanja.

Ovako izgleda naša galaksija kada se posmatranja neutralnog vodonika kombinuju i napravi kompletna slika (sl. 58.4).

Pošto smo se upoznali sa nekim od osnovnih načina na koje se određuju udaljenosti u Galaksiji, a time i njena prostorna struktura, možemo da detaljnije razmotrimo samu strukturu. Iz dosadašnjeg razmatranja, a posebno iz slike dobijene radioastronomskim putem, možemo zaključiti da živimo u spiralnoj galaksiji. Taj zaključak potvrđuje i poređenje zvizda naše Galaksije sa zvizdama u drugim galaksijama.

Na crtežu vidimo jednu tipičnu spiralnu galaksiju gledanu sa strane, tako da galaktičku ravan vidimo kao crtu.

Oni objekti koji su koncentrisani oko galaktičke ravni čine galaktički disk. Uz samu ravan postoji velika koncentracija prašine i gasa. Pored toga galaksija ima izraženo

jedro, baldž (zadebljanje diska u oblasti oko jedra), halo i galaktičku koronu. Debljina diska je oko 2 kps. a red veličine njegovog radijusa 10 kps. U disku imamo sve vrste zvijezda, između ostalih i vruće gigante, dugoperiodične cefeide, zvijezde koje pripadaju rasijanim skupovima. Svakako, tu su i obične zvijezde kakvo je naše Sunce. Zajedno sa difuznom materijom nabrojene vrste zvijezda čine ravnanski podsistem galaksije.

U sferičkom podsistemu, koji čine jedro baldž i halo imamo uglavnom zvijezde skupljene u kuglaste skupove. Tu ima mnogo kratkoperiodičnih cefeida. Zvijezde sferičke komponente imaju velike brzine haotičnog kretanja, do 200 km/s.

Primijećeno je da su zvijezde koje se koncentrišu prema galaktičkoj ravni znatno bogatije metalima. Teorija zvijezdane evolucije uspješno objašnjava pojavu podsistema i razlike u osobinama objekata, koji ih sačinjavaju.

Na ovom dijagramu vidimo zavisnost dužine života zvijezde od njene mase.

Vidimo da masivne zvijezde karakteristične za podsistem diska moraju da budu vrlo mlade. Bogatstvo metala takođe govori o mladosti objekta. Zna se da jezgre elemenata teških od željeza nastaju samo u eksplozijama supernovih zvijezda koje su same plod dugotrajne evolucije (iako kraće od evolucije onih zvijezda koje ne postaju supernove). Da bi nastala koncentracija atoma teških elemenata kakvu vidimo kod mladih objekata potrebno je da se u međuzvezdanim prostoru skupi prilična količina materije nastale nakon eksplozija supernovih, a za to je bilo potrebno mnogo vremena. Manje masivni objekti nastali su još onda kada se galaksija tek formirala i nije moglo odakle da bude metala. Zbog svoje mase takve zvijezde doživjele su, da se slobodnije izrazimo, duboku starost.

Za mlade zvijezde i njihove skupove obično se kaže da pripadaju populaciji I, a za stare populaciji II.

U narednim odjeljcima ćemo, kao tipične predstavnike populacija, izdvojiti zvijezde koje pripadaju kuglastim i rasi-
janim skupovima, a to će biti i prilika da se upoznamo sa
proučavanjem skupova.

Za skupove možemo napraviti takozvani H-R dijagram i odatle izvlačiti zaključke o njihovoj evoluciji, odnosno starosti. Isto tako može se istraživati koliko je skup stabilan.

Nakon što smo u najopćenitijim crtama pogledali kako izgleda tipična spiralna galaksija navedimo i osnovne podatke o onoj u kojoj se i sami nalazimo i koju smo u tekstu označili velikim slovom.

Dijametar diska	=	25 kps
Dijametar sferičkog podsistema	=	30 kps
Debljina diska	=	2 kps
Masa	=	$1,4 \cdot 10^{11}$ masa Sunca

Apsolutna zvjezdana
veličina sa strane
galaktičkog pola = $M_V = -20,5$

63. R a s i j a n i s k u p o v i

Izdvajamo ih kao tipične objekte populacije diska, odnosno ravanskog podsistema Galaksije. Danas je poznato oko 1000 rasi-
janih skupova. Pretpostavlja se da ih u

Galaksiji ima oko 18 000. Obično imaju svega nekoliko desetaka ili nekoliko stotina zvijezda. Uglavnom se radi o relativno mladim tvorevinama. Ponekad je rasijan skup neka vrsta jezgra veće grupe zvijezda.

Starost skupa moguće je odrediti iz dijagrama boja-magnituda ili spektralna klasa-magnituda po položaju početka otklona od osnovnog glavnog niza.

Rasijani skupovi ne samo da su relativno mlade tvorevine, već su, zbog male mase, i nestabilni. Vrijeme za koje se skup raspadne direktno je proporcionalno njegovoj gustini.

Možemo reći da rasijani skupovi pokazuju da u Galaksiji proces formiranja zvijezda u ravanskom podsistemu stalno traje.

64. K u g l a s t i s k u p o v i

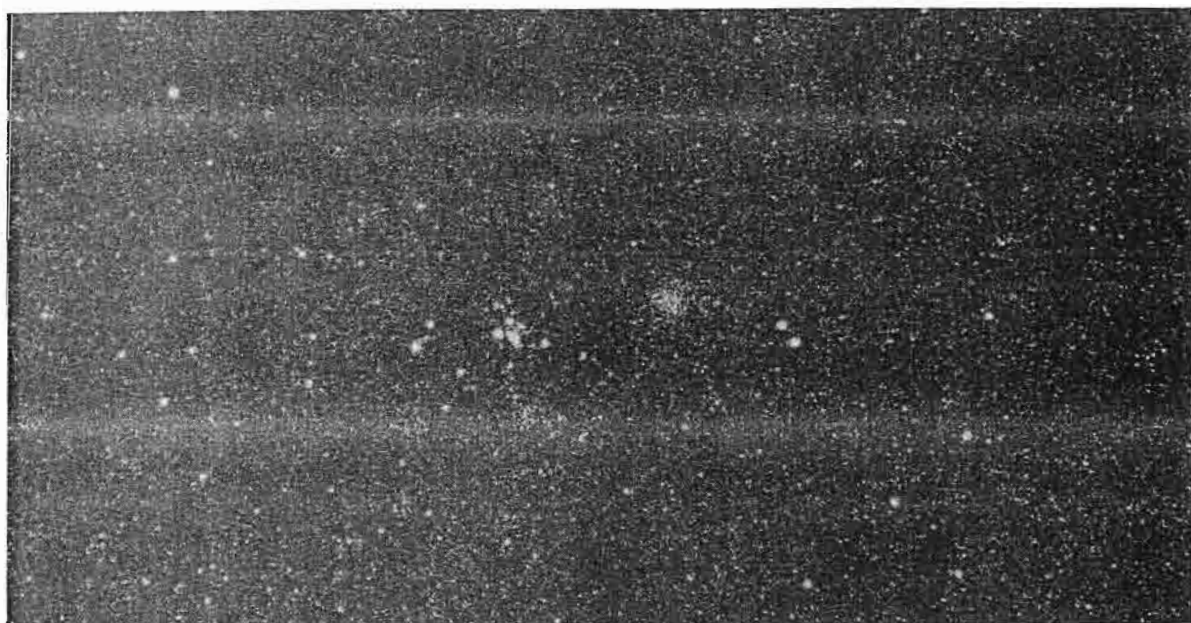
U našoj Galaksiji poznato je 125 kuglastih skupova, a njihov ukupan broj procjenjuje se na oko 500. Kuglasti skupovi su, za razliku od rasijanih, vrlo bogati zvijezdama. Njihov broj u skupu varira od 10^5 do 10^7 . Srednja spektralna klasa kuglastih skupova je F8.

Kao što znamo kuglasti skupovi pripadaju sferičkom podsistemu. To su svakako vrlo stari objekti i njihov uzrast određen na osnovu H-R dijagrama kreće se od $9,9 \cdot 10^9$ godina do $10,2 \cdot 10^9$ godina. Postoje pretpostavke da su svi stari koliko i sama Galaksija, čiji se uzrast procjenjuje na 10 milijardi godina.

Iz izloženog vidimo da moraju da budu siromašni metalima i da u njima ne može biti sjajnih zvijezda, pošto su takve davno završile svoj evolucionu put.



Fotografija br. 13. Rasijani zvjezdani skup Plejade u sazvežđu Bika.



Fotografija br. 14. Rasijani zvjezdani skupovi M 46 M 47.

Istraživanje pojedinih zvijezda iz takvih skupova zahtijeva velike teleskope.

Bitno je da se napomene da ne mora postojati jednoznačna veza oblika skupa i njegove starosti. To je posebno važno istaći kada se govori o skupovima koji ne pripadaju Galaksiji. Mi prvenstveno razmatramo strukturu galaksije u kojoj živimo pa možemo uzeti kao tačno da su kuglasti skupovi uvijek stari.

65. O d r e d i v a n j e u d a l j e n o s t i s k u p a p o p r o m j e n i b o j e

U odjeljku o boji zvijezda rekli smo da postoje razne vrste kolor indeksa. Može se pokazati da za zvijezde glavnog niza zavisnost (U-B) od (B-V) određuje standardna kriva nalik na položeno slovo "S". Za skup koji posmatramo ta kriva je nešto pomjerena. Mi treba da vidimo koliko je dobivenu krivu potrebno pomjeriti duž takozvane linije pocrvenjenja da bi se ona poklopila sa standardnom krivom. Linija pocrvenjenja određena je odnosom:

$$\frac{(U-B)}{(B-V)} = 0,7$$

Sada pomoću formule $A_V = 3,0 \Delta(B-V)$ dobivamo za koliko magnituda je sjaj zvijezde promijenjen usljed apsorpcije i raspršenja u međuzvjezdanom prostoru.

Tako smo dobili V_0 i $(B-V)_0$. Sada poređenjem sa standardnim

H-R dijagramom možemo vidjeti i koja je apsolutna magnituda pojedinih zvijezda, a to znači da više nije teško naći i udaljenost do skupa.

Iz svega izloženog vidimo da se glavni niz koristi kao najosnovniji standard.

66. O d r e d i v a n j e s t a r o s t i s k u p a

Posmatranjem rasijanih zvjezdanih skupova, a posebno posmatranjem H-R dijagrama izrađenih za pojedine skupove vrlo lako se može zapaziti njihova velika raznolikost. Prvi ju je otkrio Trumpler. Primijetio je da pojedini skupovi, npr. Plejade, kod zvijezda spektralne klase B3 napuštaju glavni niz i produžuju do slabijih zvijezda.

U drugih, kao Hijada, zvijezda spektralne klase B uopšte nema, ali zato ima nekoliko giganata, dok ostale zvijezde idu glavnim nizom od klase A do F.

To se dešava zato što masivnije zvijezde brže evoluiraju. Najmasivnije zvijezde nekog skupa istrošile su svoje zalihe vodonika, postale crveni giganti i dijagram skupa skrenule udesno ili uvis. Po položaju početka skretanja glavnog niza skupa od osnovnog glavnog niza na dijagramu moguće je odrediti starost skupa. Vezu karakteristika glavnog niza skupa i starosti skupa ilustruje sljedeća tabela:

Log (starosti u godinama)	6	7	8	9	10
M_V najsjajnije zvijezde na glavnom nizu	-7	-4	-1	+2	+4
Najranija spe- ktralna klasa na glavnom nizu	O6	B1	B7	A5	F2
Minimalna vrije- dnost $(B-V)_0$ na glavnom nizu	-0,31	-0,23	-0,05	+0,30	+0,7

Veza karakteristika glavnog niza skupa sa starošću.

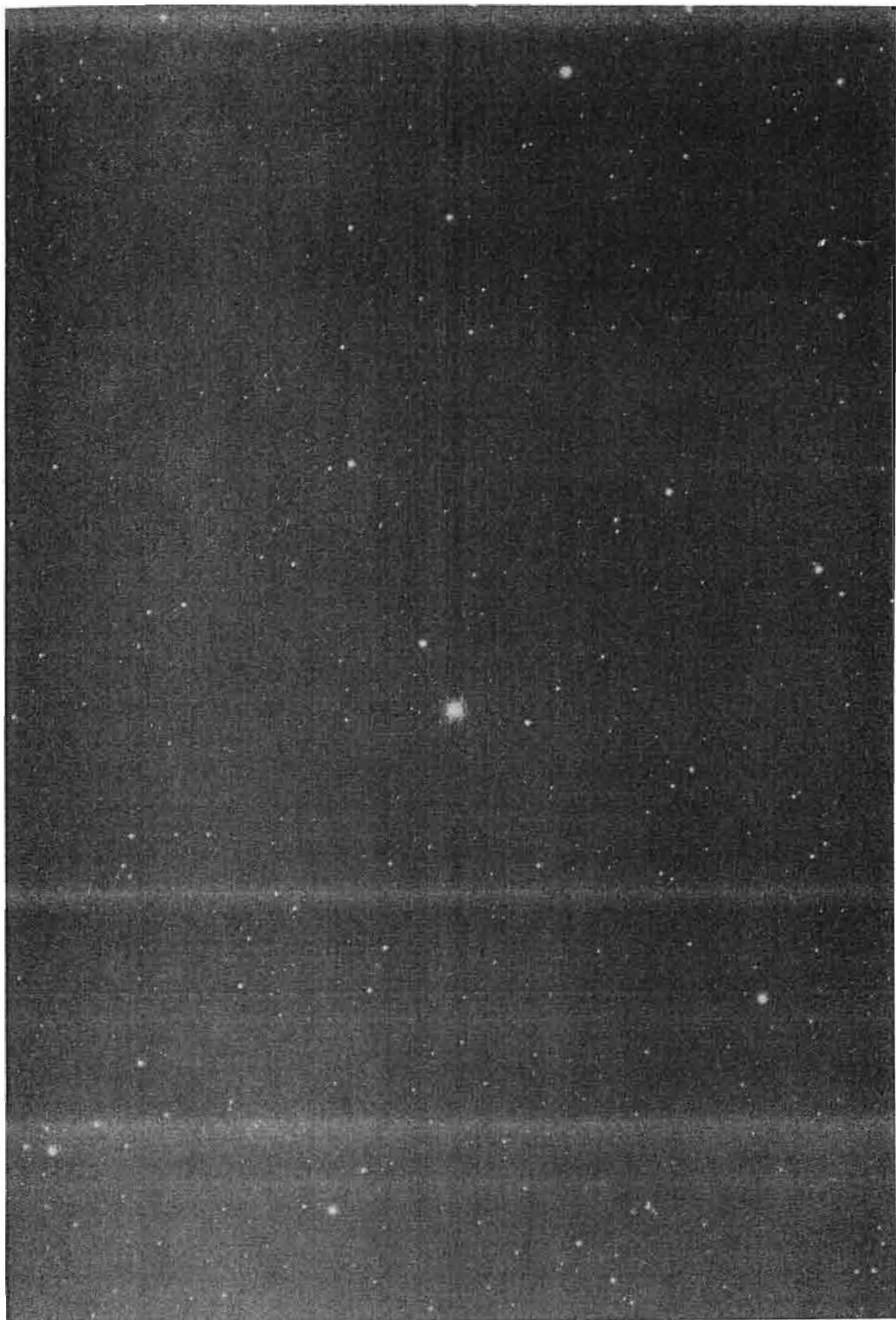
Napomena: $\log 1000000 \text{ god} = 6$

Obično se zavisnost boja-magnituda nanosi u vidu veličine $B-V$ (ispravljene na međuzvjezdanu apsorpciju) u funkciji M_V . Na dijagramu vidimo da kod različitih skupova glavni nizovi skreću različito. U NGC 2362 i u h i x Perzeja glavni niz se produžava do veoma svijetlih zvijezda. NGC 2362 je najmlađi predstavljeni skup sa starošću od milion godina. Navedeni dvostruki skup u Perseju takođe je mlada tvorevina. Većina zvijezda se kod njih još uvijek nalazi na glavnom nizu mada tu nalazimo i nekoliko crvenih super-giganta.

U Plejadama se svijetli kraj glavnog niza kreće pravo, tj. na crvenu stranu od glavnog niza. Taj skup je srednje starosti. Glavni niz skupova Praespe i Hijade počinje od zvijezda klase A, a NGC 752 od klase F. Među zvijezdama ova tri skupa nalazimo i nekoliko crvenih giganata.

Skup M 67 je star oko $7 \cdot 10^9$ godina; njegov dijagram napušta glavni niz oko klase F5 i više nego ostali savija se nadesno.

Iz svega ovog možemo da zaključimo da su zvijezde nekog skupa to mlađe što se većim svojim dijelom glavni niz nalazi u području svjetlijih (sjajnijih) zvijezda.



Fotografija br. 15. Kuglasti skup zvijezda M 13 u Herkulu.

PROMJENLJIVE ZVIJEZDE

Promjenljivim zvijezdama nazivaju se samo one zvijezde kod kojih je, u okvirima tačnosti mjerenja, uočena promjena sjaja uzrokovana fizikalnim ili geometrijskim činiocima. Radi se samo o promjenama u vidljivom dijelu elektromagnetnog spektra. Promjene sjaja su obično velike i lako uočljive okom ili manjim teleskopima. Do danas je otkriveno oko 30000 promjenljivih zvijezda iako samo neznatan dio od ukupnog broja zvijezda pokazuje promjene sjaja. Za svako sazvežđe se označavaju velikim slovima počevši od R, S, T, ..., Z, zatim sa dva slova RR, RS, ..., ZZ i konačno sa AA, AB, ..., AZ, BB, BC, ..., BZ, ..., i zadnjim slovom QZ, što čini ukupno 334 kombinacije. Nakon toga se daje oznaka V uz broj koji označava koja je promjenljiva po redu u određenom sazvežđu, npr. V 451 Ophiuchus.

Klasifikuju se po prirodi promjenljivosti. Osnovne grupe su pulsirajuće, polupravilne, nepravilne, eruptivne, nebularne, simbiotske i pomračujuće. Klasifikacija promjenljivih sa osnovnim karakteristikama je data u tabeli.

67. C e p h e i

TIP: pulsirajuća promjenljiva zvijezda

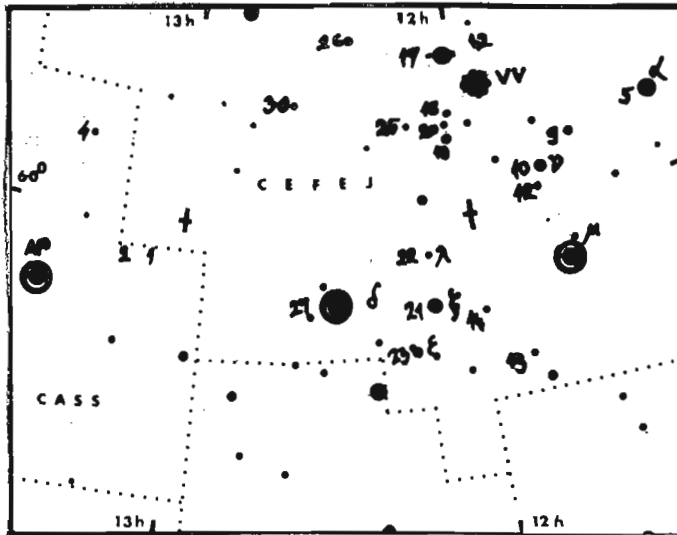
John Goodricke ju je otkrio, kao promjenljivu 1784. godine. Spada u grupu cefeida kao pulsirajuća kratkoperiodična promjenljiva.

Cefeide su i dobile ime upravo po toj zvijezdi. Sjaj δ Cephei varira između 3.78 - 4.63 magnitude. Period promjene sjaja iznosi 5.366 dana. Tokom promjene sjaja mijenja se i spektralni tip što je karakteristika svih pulsirajućih promjenljivih zvijezda. U istom periodu im se mijenjaju prečnik i spoljna temperatura. Pulsiranje je posljedica unutrašnje nestabilnosti i u ukupnom životu zvijezde kratko traje.

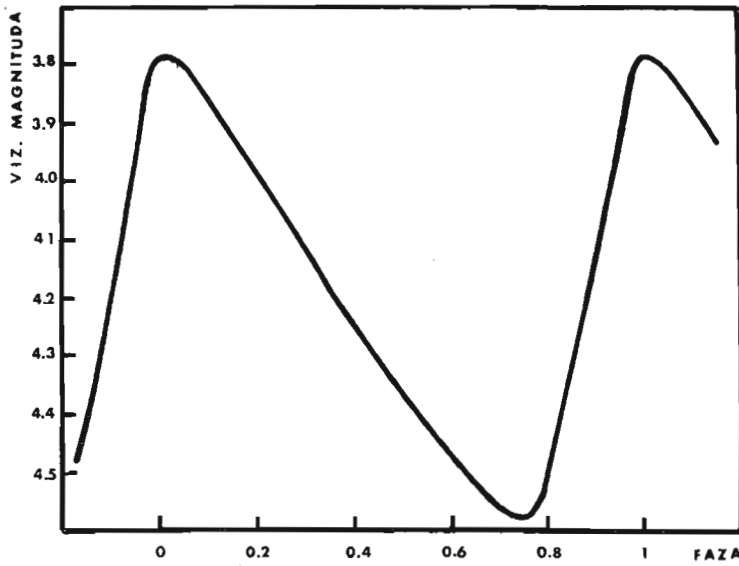
68. \circ C e t i (Mira)

TIP: Pulsirajuća promjenljiva zvijezda

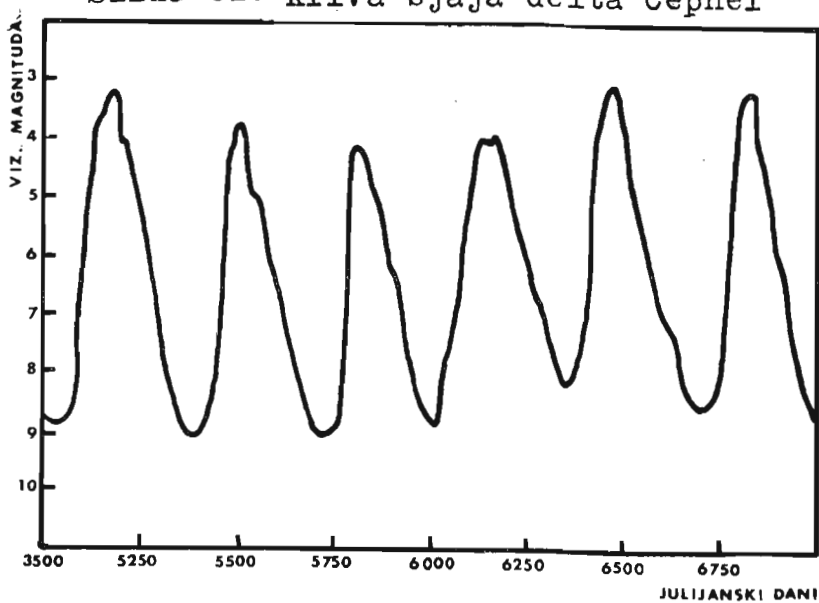
David Fabricius je 1596. godine otkrio da je Mira promjenljiva zvijezda. Periodičnost promjene sjaja utvrdio je 1638. godine Holward. Mira spada u dugoperiodične promjenljive, jer joj je srednji period promjene sjaja 331,5 dan. Amplituda promjene sjaja je velika; kreće se od 2-10 magnitude. Zvijezde ovog tipa su giganti i supergiganti M, N i S spektralnih tipova. Na dijagramu promjene sjaja se može zapaziti da promjene sjaja nisu pravilne kao kod cefeida. Amplitude maksimuma i minimuma sjaja variraju za ovaj tip promjenljivih te se, na osnovu ranijih posmatranja, ne može predvidjeti ni tačan trenutak maksimuma ili minimuma, ni njihova amplituda. Zbog toga je važno da se neprekidno posmatraju. Maksimumi \circ Ceti mogu biti u intervalu od 2-5 magnitude. 1779. godine je maksimum čak dostigao prvu magnitudu. Amplituda minimuma varira manje od amplitude maksimuma.



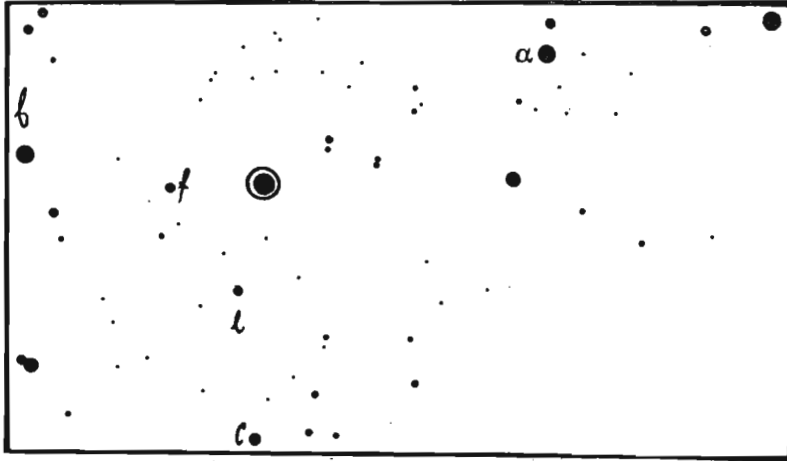
Slika 60. Okolina zvijezde delta Cephei



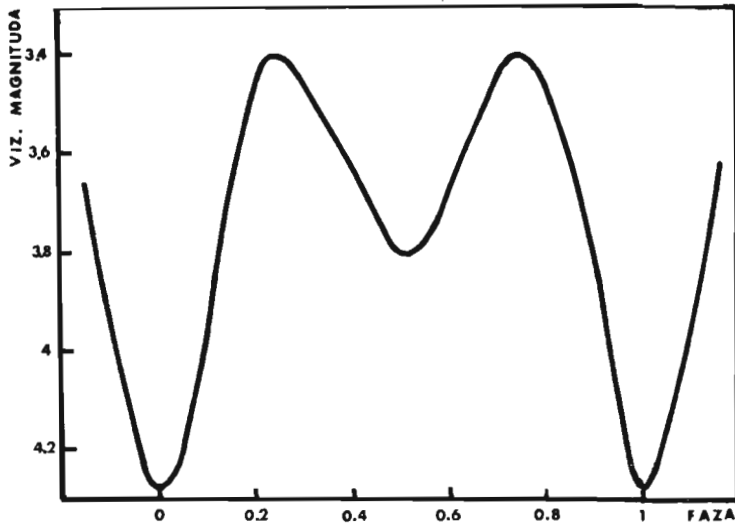
Slika 61. Kriva sjaja delta Cephei



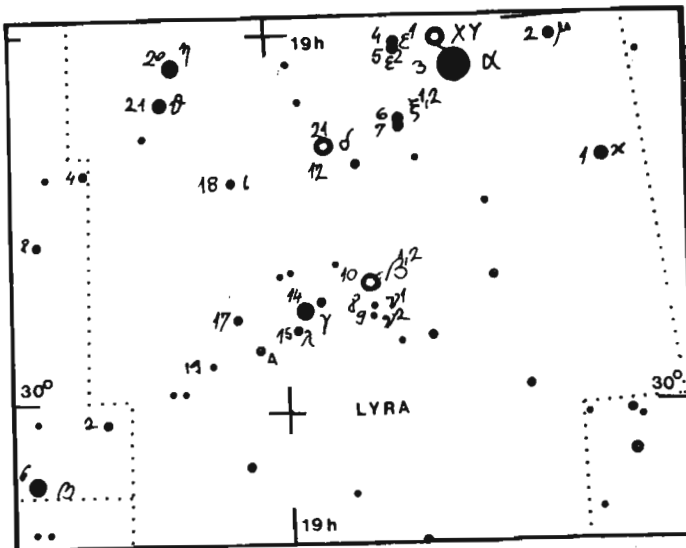
Slika 62. Promjena sjaja o Ceti



Slika 63. Okolina zvijezde o Ceti



Slika 64. Kriva sjaja beta Lyrae



Slika 65. Okolina zvijezde beta Lyrae

69. L y r a e (Seliak)

TIP: pomračujuća promjenljiva zvijezda

Nakon serije posmatranja John Goodricke je 1774. godine utvrdio da je β Lyrae pomračujuća promjenljiva. Ujedno je i prototip za sve zvijezde sa sličnom krivom sjaja. Period joj se postepeno povećava zbog čega je astronomi, a naročito astronomi amateri, neprekidno posmatraju. Sistem se sastoji iz dvije komponente koje su međusobno pod vrlo jakim gravitacionom uticajem zbog čega su deformisane na elipsoidan oblik. Između njih vlada stalna cirkulacija materije. Obe zvijezde su okružene tankim oblakom materije, koju jedna iz druge izbacuju jakim gravitacionim silama.

70. β P e r s e i (Algol)

TIP: pomračujuća promjenljiva zvijezda

Promjenu sjaja β Persei prvi je otkrio Montanari 1669. godine da bi John Goodricke, tek 1782. godine, ustanovio periodičnost promjene sjaja i objasnio njegovo porijeklo. β Persei se sastoji iz dvije blago elipsoidne komponente različite veličine i površinskog sjaja, tj. temperature. Kada se tamna zvijezda nađe iza sjajne nastaje sekundarni minimum. Njegova dubina je manja što je manja i tamnija zvijezda. Kod Algola iznosi svega 0.06 magnituda i moguće ga je uočiti samo fotoelektričnom fotometrijom. Kada se tamna zvijezda nađe ispred sjajne, ukupni gubitak sjaja

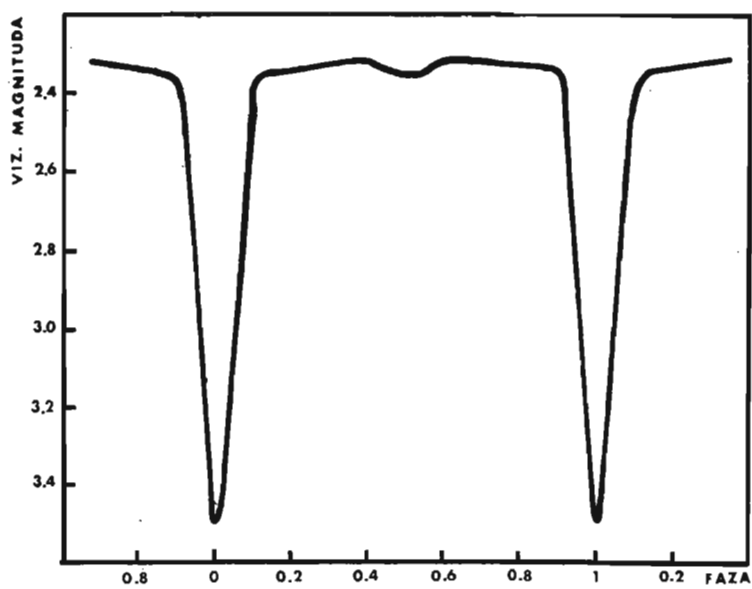
je veći i nastaje primarni minimum sa znatno većom dubinom. U intervalima između pomračenja skoro da i nema promjene sjaja što znači da tamna zvijezda malo doprinosi ukupnom sjaju sistema. Orbite para su prilično kružne. Periodi ima skokovite promjene. Uzrokuje ih treća zvijezda u sistemu na većoj udaljenosti od pomračujućeg para. Još je nepotvrđena mogućnost postojanja i četvrte zvijezde u sistemu sa masom od oko $3.8 M_{\odot}$.

Sistem je detaljno ispitan fotometrijski i spektroskopski. Ustanovljene su slijedeće karakteristike pomračujućeg para:

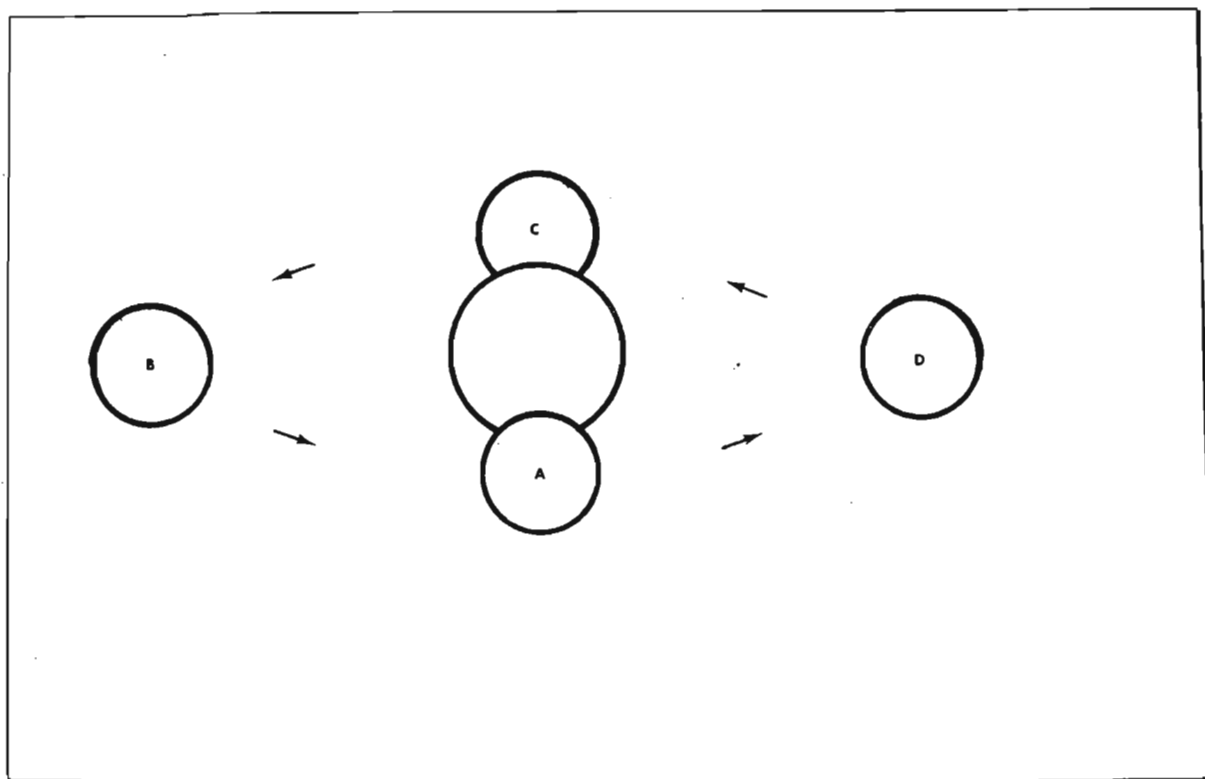
Trajanje primarnog minimuma	$9^{\text{h}}.66$
Inklinacija orbite ($\cos i = 0.142$)	$81^{\circ}.8$
Udaljenost između centara zvijezda	10522000 km.
Radius sjajne zvijezde	$3.12 R_{\odot}$
Radius tamne zvijezde	$3.68 R_{\odot}$
Masa sjajne zvijezde	$4.72 M_{\odot}$
Masa tamne zvijezde	$0.95 M_{\odot}$
Gustina sjajne zvijezde	$0.16 M_{\odot}$
Gustina tamne zvijezde	$0.02 M_{\odot}$

a treće zvijezde:

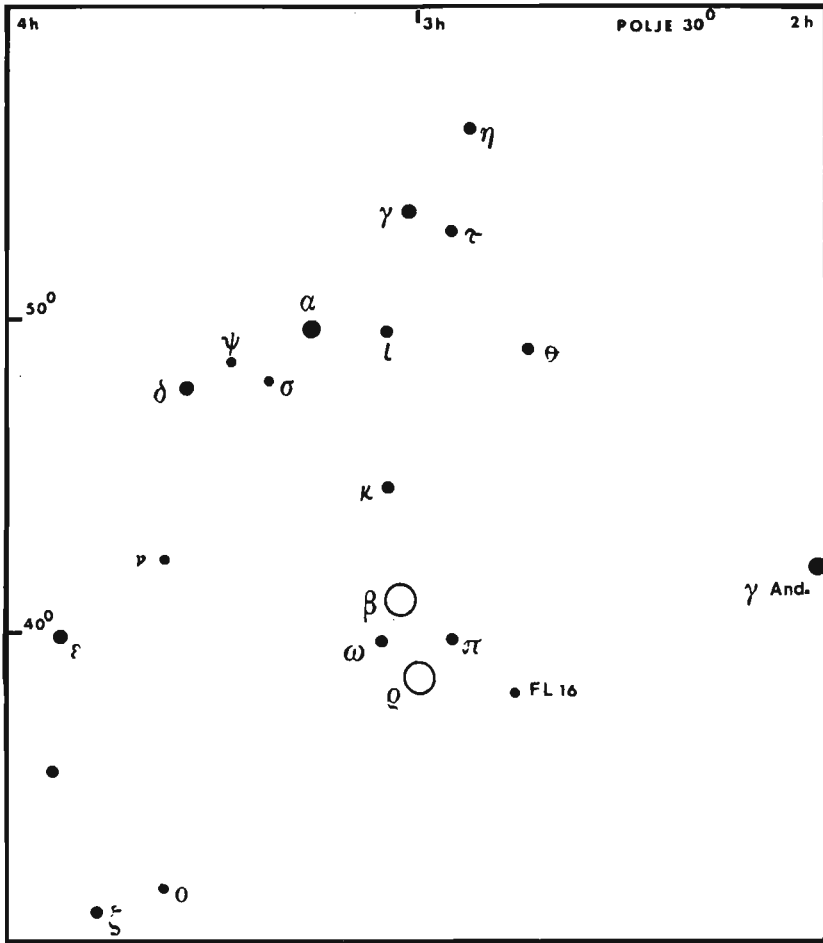
Spektralni tip	F2
Radius	$1.2 R_{\odot}$
Masa	$1.3 M_{\odot}$
Period	$1^{\text{d}}.873$



Slika 66. Diagram sjaja bete Perzeja



Slika 67. Prikaz pomračenja



Slika 68. Karta okoline zvijezde beta Persei

VIZUELNE DVOJNE ZVIJEZDE

Kada dvije zvijezde djeluju jedna na drugu gravitacionim silama toliko da se kreću po zatvorenim orbitama oko zajedničkog centra masa nazivaju se dvojnim zvijezdama, za razliku od zvijezda koje na nebu izgledaju blizu, a prostorno su toliko udaljene da ne vrše nikakav međusobni uticaj.

Razlikuju se vizuelne, spektroskopske i pomračujuće dvojne zvijezde. Naročito su zanimljive jer im se, pomoću zakona gravitacije, mogu izračunati mase - što za u-samljene zvijezde nije moguće. Dvojne zvijezde koje se teleskopom ili okom mogu rađvojiti na komponente nazivaju se vizuelnim.

Posmatranja vizuelnih dvojnih zvijezda se sastoji u mjerenju uglaone udaljenosti između komponenti i ugla P , tzv. pozicionog ugla, koji zaklapa zamišljena linija kroz centre zvijezda sa pravcem ka sjevernom nebeskom polu. Mjerenja se vrše mikrometrom. Veličina se mjeri tako što se primarna zvijezda (sjajnija) dovede u presjecište učvršćenih niti, a pokretna nit se pomoću mikrometarskog zavrtnja dovede na sekundarnu zvijezdu. Očitavanje sa zavrtnja se može prevesti u ugao rastojanje, a pomoću njega i udaljenosti dvojnog sistema može se izračunati i prava udaljenost između komponenti. Pozicioni ugao se mjeri zakretanjem sistema učvršćenih niti dok se nit 2 ne poklopi sa pravcem ka sjevernom nebeskom polu. Pri izračunavanju elemenata prave orbite dvojne zvijezde treba imati na umu da je orbita koja se posmatra sa zemlje prividna, jer predstavlja samo

projekciju prave orbite na ravan normalnu na pravac posmatranja. Pri radu je potrebno najveće uvećanje kod kojeg je još slika dovoljno dobra za precizno mjerenje.

Mogu se vršiti fotografska mjerenja umjesto vizuelnih. Ona daju jednaku tačnost u slučaju da su zvijezde na ugaonoj udaljenosti od 1" - 2" i ako sjaj jedne nije mnogo veći od sjaja druge. Za zvijezde na većem ugaonom rastojanju fotografsko mjerenje je tačnije.

71. C a s t o r (Alfa Geminorum)

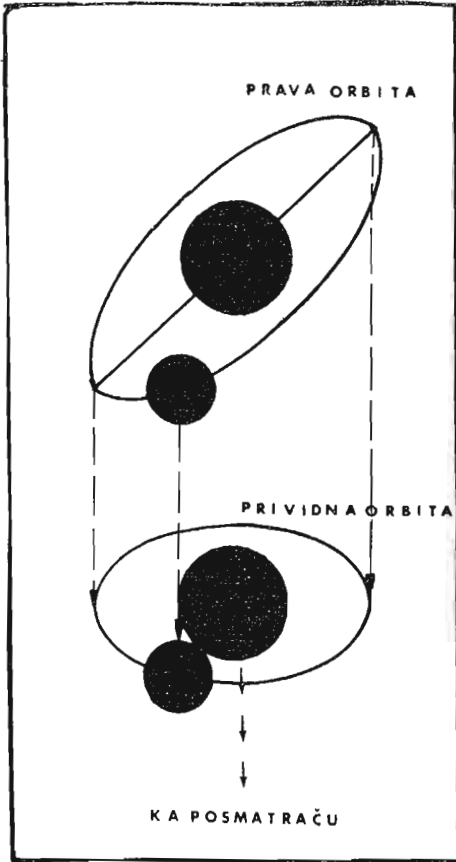
Kao vizuelnu dvojniu zvijezdu Bradley i Pound su 1719. godine otkrili par A-B. Sistem Bb otkrio je Belopolsky 1896. godine, a sistem Aa Curtis 1904. godine. Oba su spektroskopske dvojene zvijezde. Adams i Joy 1920. godine otkrivaju da je Castor C pomračujuća dvojna zvijezda.

Do danas je najmanje poznat ostao vizuelni par. Zbog velike međusobne udaljenosti zvijezda (više od dva puta udaljenost Plutona od Sunca) period je dug. Broj do sada izvršenih posmatranja nije dovoljan da bi se precizno odredili elementi orbite. Period može biti od 340-477 godina. Ukupna masa sistema Aa-Bb se procjenjuje na oko $5 M_{\odot}$.

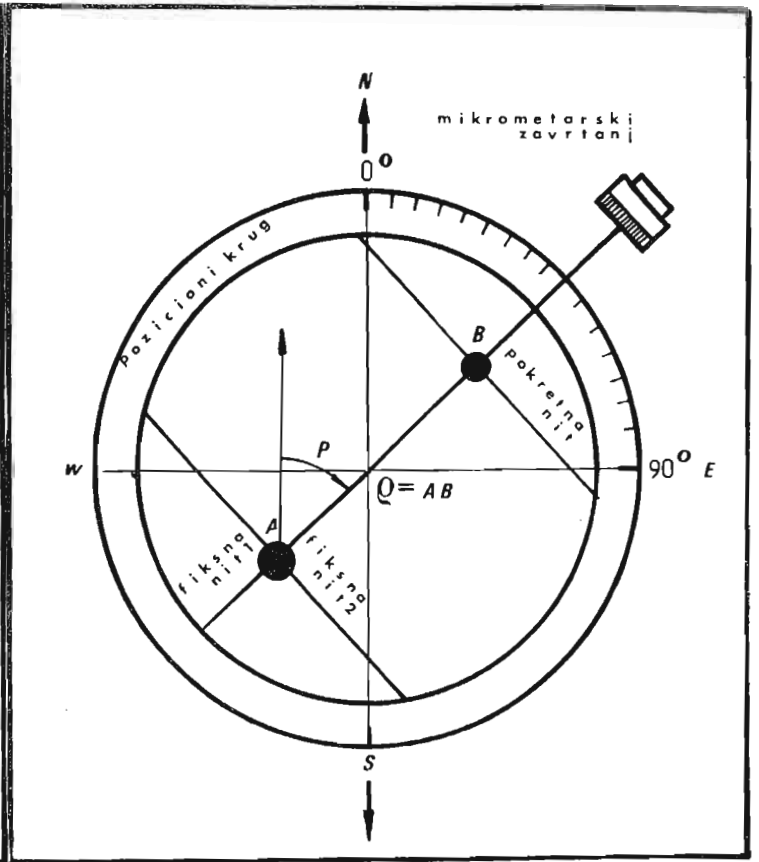
Kako je sistem Cc na velikoj udaljenosti od sistema Aa-Bb njegov period pri obilasku oko zajedničkog centra masa se procjenjuje na 25 000 godina. Biće potrebno nekoliko stotina godina posmatranja da bi se odredili elementi te orbite.

Sistem Aa ima eliptičnu orbitu sa ekscentricitetom od 0,5033 i period od 9.2218826 dana.

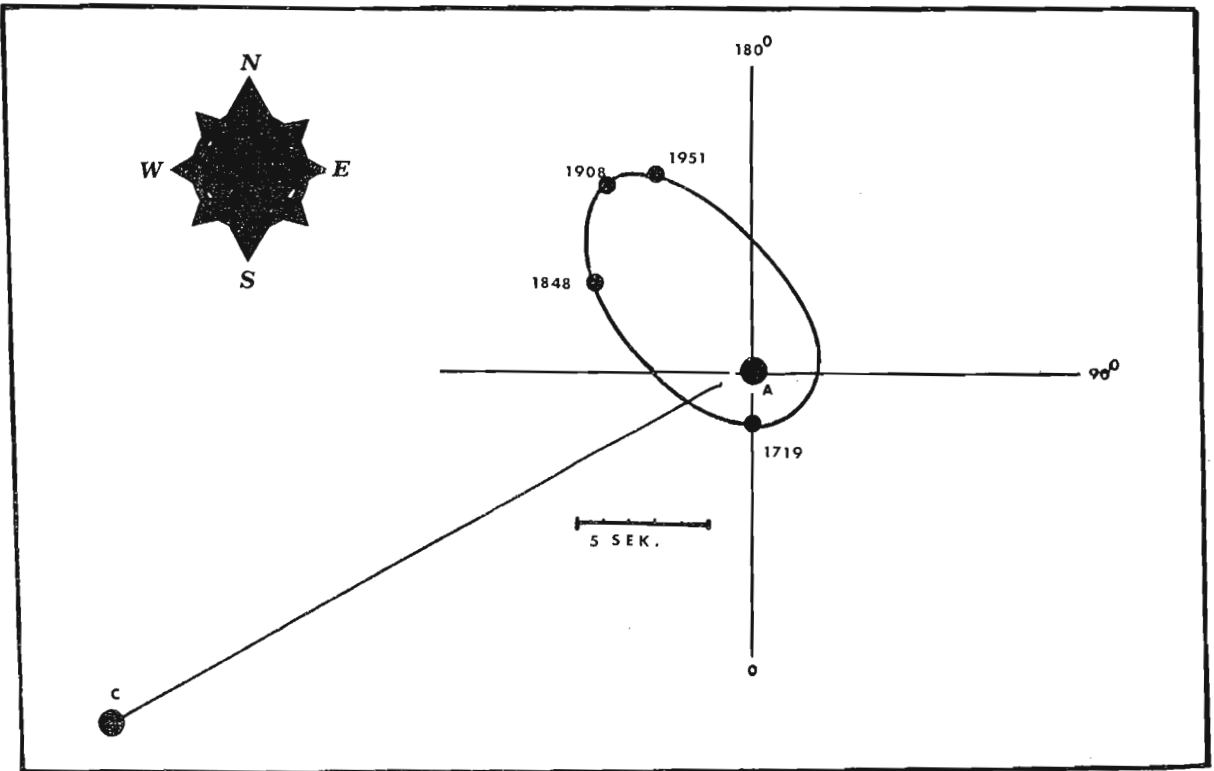
Sistem Bb ima skoro kružnu orbitu i period od 2.928285 dana. Kako je sistem Cc pomračujući može se posmatrati i spektro-



Slika 69.



Slika 70.



Slika 71.

skopski i fotometrijski, i najbolje je proučen. Orbita je kružna sa uglom inklinacije od $86^{\circ}4$ i periodom od 0.814266 dana. Komponenta C ima masu $0.63 M_{\odot}$, a komponenta c $0.57 M_{\odot}$. Gustoće su, respektivno, $1.40 \rho_{\odot}$ i $1.80 \rho_{\odot}$, a poluprečnici $0.76 R_{\odot}$ i $0.68 R_{\odot}$. Udaljenost između centara je $2.7 \cdot 10^6$ km.

72. K r u g e r 60

Interesantno je da su obe komponente u ovom sistemu crveni patuljci. To su zvijezde malih dimenzija i niske površinske temperature, te zbog toga i niskog sjaja. U stanju smo da ih vidimo samo zbog njihove blizine Suncu, na udaljenosti su od svega 16 svjetlosnih godina, tj. 5 parseka.

Mase komponentata su takođe male. Komponenta A ima masu od $0.22 M_{\odot}$, a komponenta B od samo $0.18 M_{\odot}$. Ova posljednja spada među zvijezde sa najmanjom poznatom masom. Sjaj veće komponente je 9.9, manje 11.4 dok su im odgovarajuće apsolutne magnitudo 11.9 i 13.4.

Paralaksa sistema je velika i iznosi $0^{\circ}257$. Ugaona veličina velike poluose orbite je $2^{\circ}46$, a period sistema 44.27 godina.

73. U r s a M a j o r i s

Sistem je otkrio Sir William Herschel 1780. godine kao sistem vizuelnih, dvojnih zvijezda. Veliki broj vizuelnih i fotografskih posmatranja izvršenih od tada omogućio je precizno određivanje elemenata sistema.

Tek je 1900. Wright ustanovio da je sjajnija zvijezda spektroskopska dvojna, a 1918. godine se na Lick opservatoriji otkrilo da je to i druga komponenta sistema. Ni jedan par nije pomračujuća dvojna.

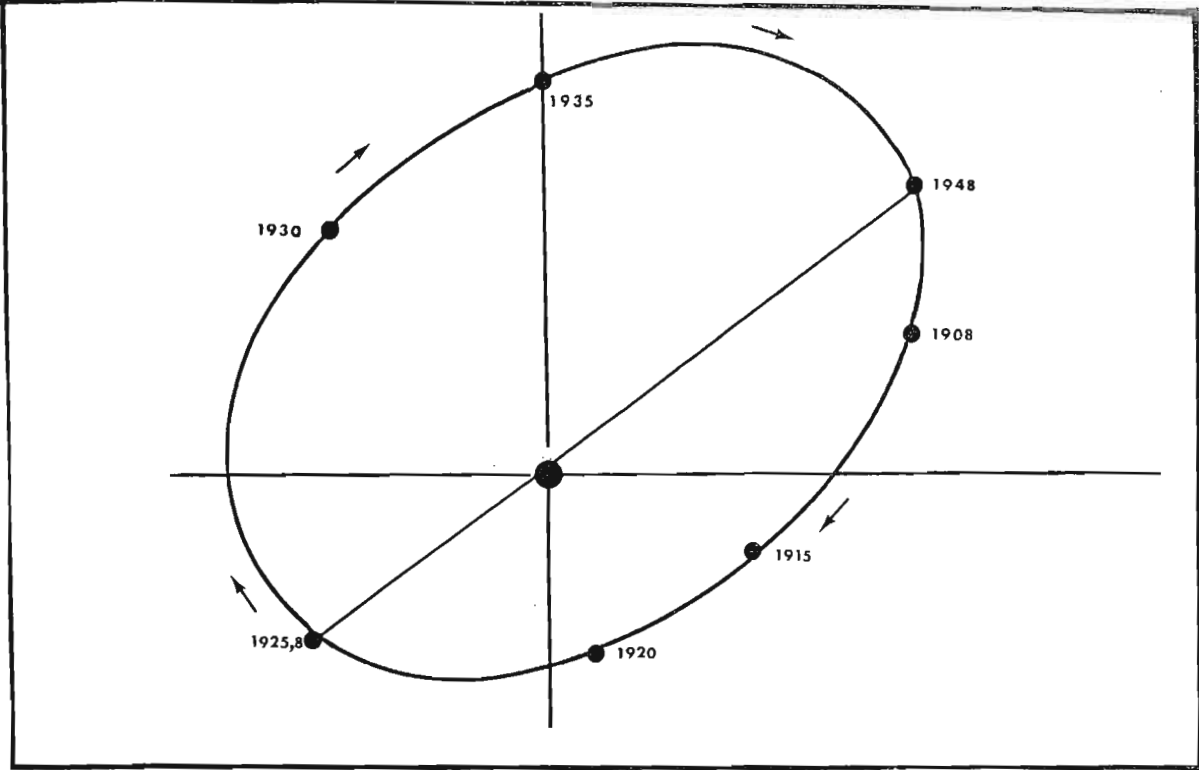
Ukupna masa parova Aa i Bb je $2.27 M_{\odot}$, dok je masa para Aa $1.280 M_{\odot}$, a masa para Bb $0.99 M_{\odot}$. Zvijezda A ima masu od $0.93 M_{\odot}$, a zvijezda a $0.35 M_{\odot}$. Mase zvijezda B i b nisu još sa sigurnošću utvrđene.

Period spektroskopske dvojne B je svega 3.9805 dana. Elementi para Aa i AB su dati u tabeli.

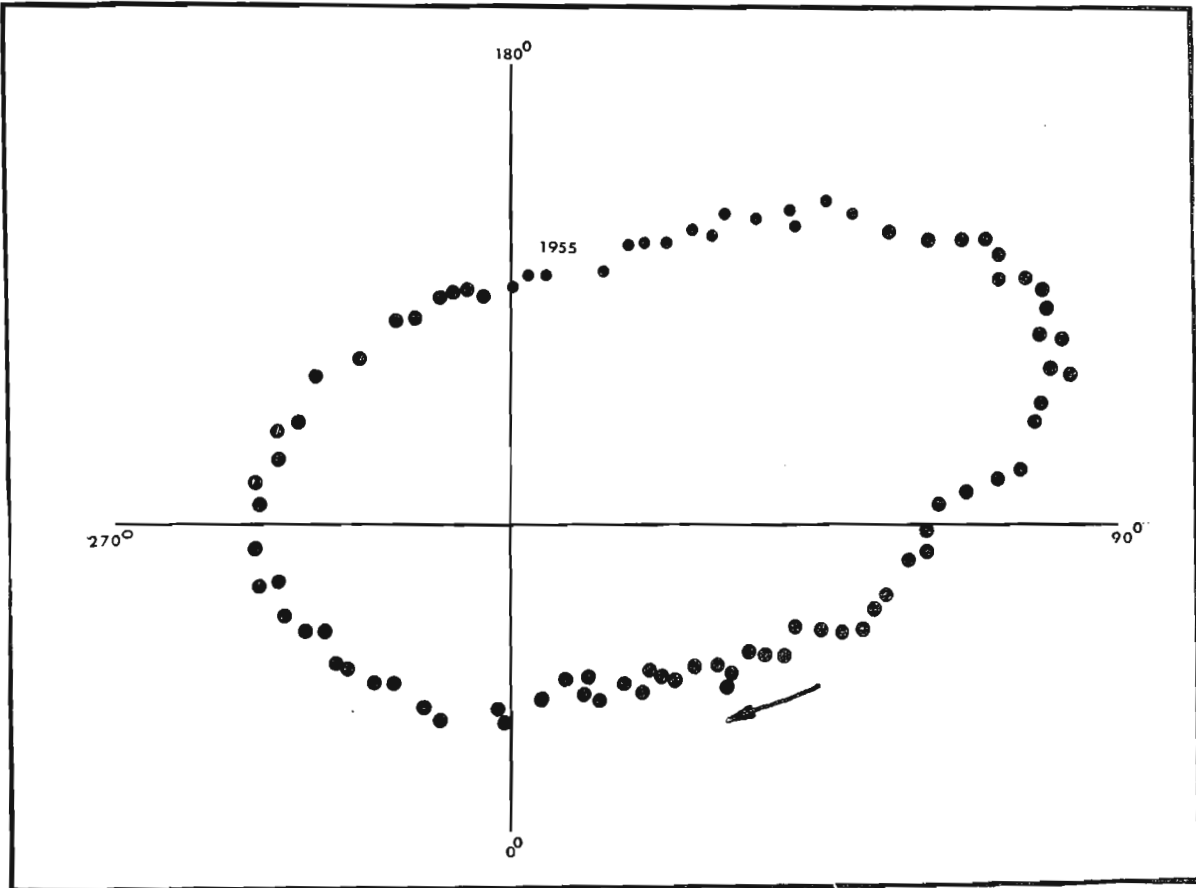
74. S i r i u s

Prvo je Bessel, još 1834. godine, ispitujući vlastito kretanje Sirusa, ustanovio da je ono promjenljivo. Nakon 10 godina je već bio siguran da do promjena dolazi zbog gravitacionog privlačenja nevidljivog saputnika. Besselovu pretpostavku su zatim provjeravali mnogi, dok 1862. godine, Alvan G. Clark, poznati graditelj teleskopa refraktora, nije, vizuelno, otkrio pratioca. Vizuelna posmatranja ovog para su izuzetno teška zbog velikog sjaja Sirusa A koji 10 000 puta premašuje sjaj pratioca. Da bi se smanjio sjaj Sirusa A koriste se raznovrsne dijafragme, koje opet ne smiju umanjiti sjaj i onako slabog Sirusa B. Razdvojiti sistem na dvije komponente može se pokušati teleskopima sa otvorima većim od 15 cm. uz korištenje maksimalnog uvećanja. Sliku u okularu treba posmatrati dugo, jer je vrlo vjerovatno da Sirus B neće, odmah biti uočen.

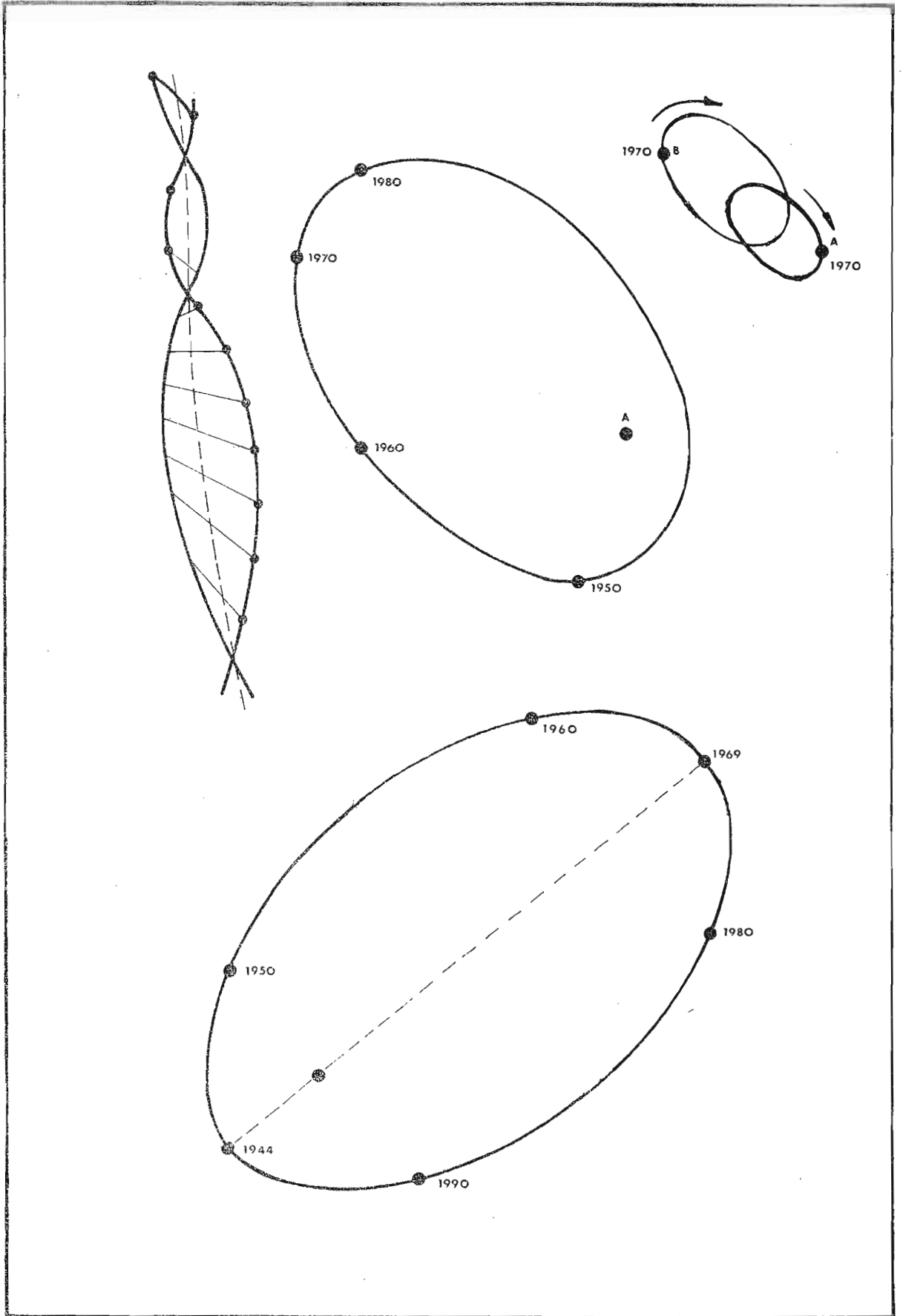
Najveća udaljenost između komponenti iznosi $11''2$, a najmanja manje od $2''$ što posmatranja u periastronu čini za sada nemogućim.



Slika 72.



Slika 73.



Slika 74.

Iz ovih razloga je otežano i određivanje sjaja pratioca i njegovog spektralnog tipa. Više posmatrača se slaže da mu je prividni sjaj 8.44, a spektralni tip A7. Sirius B je posebno interesantan zato što je nama najbliži bijeli patuljak. Cijeli sistem je na udaljenosti od svega 8.7 svjetlosnih godina, što je samo dva puta dalje od Alfe Centauri. Uz pretpostavku da je temperatura Siriusa B onolika kolika odgovara normalnoj zvijezdi njegovog spektralnog tipa, te da mu je masa $0.94 M_{\odot}$ i prividni sjaj 8.4, izlazi da mu je gustoća 50 000 puta veća od gustoće vode. Male dimenzije, a ogromne gustine su glavno obilježje bijelih patuljaka.



Fotografija br. 16. Galaksija u Andromedi M 31 snimljena sa opservatorije u Sarajevu.

MESSIEROV KATALOG

Ovaj katalog maglina izdat je krajem 18-og vijeka u Francuskoj. Izradio ga je Charles Messier, jedan od najpoznatijih otkrivača kometa, da bi sebi olakšao pronalaženje novih kometa, jer je poznato da magline, a naročito one slabog sjaja, liče na komete. Dok je kometa na velikoj udaljenosti od Sunca nema repa i slab je magličast objekat ovalnog oblika, pa je lako zamijeniti za maglinu i obrnuto. Katalog sadrži 103 objekta.

K A T A L O G

Messi. broj	NGC	L	S	Sazvje- žde	Tip	Magn.
1	1952	05 ^h 33 ^m .0	+22°00'	Tau	GM	8,4
2	7089	21 32.3	-00 56	Aqr	KS	6,3
3	5272	21 41.1	+28 31	Cvn	KS	6,4
4	6121	16 22.1	-26 28	Sco	KS	6,4
5	5904	15 17.2	+02 11	Ser	KS	6,2
6	6405	17 38.4	-32 12	Sco	RS	5,3
7	6475	17 52.3	-34 48	Sco	RS	4,1
8	6523	18 01.7	-24 23	Sag	DM	6,0
9	6333	17 17.7	-18 29	Oph	KS	7,3
10	6254	16 55.8	-04 04	Oph	KS	6,7

11	6705	18 49.7	-06 18	Sct	RS	6,3
12	6218	16 45.9	-01 55	Oph	KS	6,6
13	6205	16 40.8	+36 30	Her	KS	5,7
14	6402	17 36.3	-03 16	Oph	KS	7,7
15	7078	21 28.8	+12 04	Peg	KS	6,0
16	6611	18 17.4	-13 48	Ser	RS	6,4
17	6618	18 19.3	-16 12	Sgr	DM	7,0
18	6613	18 18.5	-17 09	Sgr	RS	7,5
19	6273	17 01.1	-26 12	Oph	KS	6,6
20	6514	18 00.4	-23 02	Sgr	DM	9,0
21	6531	18 03.2	-22 30	Sgr	RS	6,5
22	6656	18 34.8	-23 57	Sgr	KS	5,9
23	6494	17 55.4	-19 01	Sgr	RS	6,9
24	6603	18 17.0	-18 25	Sgr	RS	4,6(11,4)
25	104725	18 30.3	-19 16	Sgr	RS	6,5
26	6694	18 44.0	-09 25	Sct	RS	9,3
27	6853	19 58.5	+22 39	Vul	PM	7,6
28	6626	18 23.0	-24 53	Sgr	KS	7,3
29	6913	20 23.0	+38 27	Cyg	RS	7,1
30	7099	21 38.9	-23 18	Cap	KS	8,4
31	224	00 41.4	+41 08	And	SG	4,8
32	221	00 41.4	+40 44	And	EG	8,7
33	598	01 32.4	+30 31	Tri	SG	6,7
34	1039	02 40.4	+42 41	Per	RS	5,5
35	2168	06 07.3	+24 21	Gem	RS	5,3
36	1960	05 33.7	+34 08	Aur	RS	6,3
37	2099	05 50.7	+32 32	Aur	RS	6,2
38	1912	05 27.0	+35 49	Aur	RS	7,4
39	7092	21 31.3	+48 20	Cyg	RS	5,2
40	.....	12 22.4	+58 12	Uma	2.zv	-
41	2287	06 46.0	-20 42	Cvn	RS	4,6
42	1976	05 34.2	-05 24	Ori	DM	4,0

43	1982	05 34.4	-05 17	Ori	DM	9,0
44	2632	08 38.8	+19 57	Cnc	RS	3,7
45	....	03 45.6	+24 01	Tau	RS	1,6
46	2437	07 40.6	-14 44	Pup	RS	6,0
47	2478	07 35.4	-14 24	Pup	RS	5,2
48	2548	08 12.4	-05 41	Mon	RS	5,5
49	4472	12 28.5	+08 08	Vir	EG	8,6
50	2323	07 01.8	-08 18	Mon	RS	6,3
51	5194	13 28.8	+47 19	Cvn	SG	8,1
52	7654	23 23.1	+61 27	Cas	RS	7,3
53	5024	13 11.7	+18 18	Com	KS	7,6
54	6715	18 53.6	-30 30	Sgr	KS	7,3
55	6809	19 38.5	-30 59	Sgr	KS	7,6
56	6779	19 15.6	+30 08	Lyr	KS	8,2
57	6720	18 52.7	+33 00	Lyr	PM	9,3
58	4579	12 36.3	+11 57	Vir	SG	8,2
59	4621	12 41.0	+11 47	Vir	EG	9,3
60	4649	12 42.3	+11 41	Vir	EG	9,2
61	4303	12 20.8	+04 37	Vir	SG	9,6
62	6266	16 59.7	-30 05	Sco	KS	6,6
63	5055	13 14.7	+42 10	Cvn	SG	10,1
64	4826	12 55.5	+21 49	Com	SG	6,6
65	3623	11 17.6	+13 14	Leo	SG	9,5
66	3627	11 18.9	+13 08	Leo	SG	8,8
67	2682	08 49.2	+11 54	Cnc	RS	6,1
68	4590	12 38.1	-26 37	Hya	KS	8,2
69	6637	18 29.7	-32 21	Sgr	KS	8,9
70	6681	18 41.6	-32 19	Sgr	KS	9,6
71	6838	19 52.6	+18 43	Sag	KS	9,0
72	6981	20 52.0	-12 38	Aqr	KS	9,8
73	6994	20 57.7	-12 44	Aqr	4.zv	-
74	628	01 35.3	+15 39	Psc	SG	10,2

75	6864	20 04.3	-22 00	Sgr	KS	8,0
76	650	01 40.4	+51 26	Per	PM	12,2
77	1068	02 41.4	-00 07	Cet	SG	8,9
78	2068	05 45.6	+00 03	Ori	DM	8,3
79	1904	05 22.8	-24 33	Lep	KS	7,9
80	6093	16 15.6	-22 56	Sco	KS	7,7
81	3031	09 53.6	+69 11	Uma	SG	7,9
82	3034	09 54.0	+69 49	Uma	NG	8,8
83	5236	13 33.5	-29 44	Hya	SG	10,1
84	4374	12 23.8	+13 02	Vir	SG	9,3
85	4382	12 24.1	+18 20	Vir	SG	9,3
86	4406	12 25.0	+13 05	Vir	EG	9,7
87	4486	12 29.6	+12 32	Vir	EG	9,2
88	4501	12 30.8	+14 34	Com	SG	10,2
89	4552	12 34.3	+12 42	Vir	EG	9,5
90	4569	12 35.6	+13 18	Vir	SG	10,0
91	.....	.. .. .	.. ..	...	..	.. .
92	6341	17 16.4	+43 10	Her	KS	6,1
93	2447	07 43.5	-23 49	Pup	RS	6,0
94	4736	12 49.7	+41 16	Cvn	SG	7,9
95	3351	10 42.6	+11 50	Leo	SG	10,4
96	3368	10 45.7	+11 57	Leo	SG	9,1
97	3587	11 13.5	+55 10	Uma	PM	12,0
98	4192	12 12.6	+15 03	Com	SG	10,7
99	4254	12 17.6	+14 34	Com	SG	10,1
100	4321	12 21.9	+15 58	Com	SG	10,6
101	5457	14 02.3	+54 28	Uma	SG	9,6
102	.....	.. .. .	.. ..	...	..	.. .
103	581	01 31.5	+60 35	Cas	KS	7,4

Kasnije su drugi ovom katalogu dodavali nove objekte, za-
ključno sa rednim brojem M 110. Danas ti objekti češće no-
se NGC oznaku.

Messie. broj	NGC	Položaj 1950.0		Sazvje- žđe	Tip	Magni- tuda
104	4594	12 ^h 37 ^m 3	11°21'	Vir	SG	8,7
105	3379	10 45.2	12 51	Leo	EG	9,2
106	4258	12 16.5	47 35	Uma	SG	8,6
107	6171	16 29.7	12 57	Oph	KS	9,2
108	3556	11 08.7	55 57	Uma	SG	10,7
109	3992	11 55.0	53 39	Uma	SG	10,8
110	205	00 37.6	41 25	And	EG	9,4

Prvih šest objekata otkrio je Messierov asistent Méchain,
a posljednji možda Messier.

NAPOMENE UŽ KATALOG

Oznake u katalogu su:

1. Redni broj u Messierovom originalnom katalogu.
2. Redni broj u NGC (New General Catalogue). Ovaj katalog objavio je Henri Drayer 1888. godine. Kasnije su objavljena dva dodatka IC (Index Catalogue). Katalozi NGC i dva IC sadrže ukupno 13226 objekata koji nisu zvijezde.
3. Rektascenzija i deklinacija za 1975.0 godinu.

Rektascenzija je data u časovima i minutama, a deklinacija u stepenima i minutama.

4. Sazvježđe u kome se objekat nalazi.

5. Tip objekta (vidi skraćenice u katalogu).

6. Prividna veličina objekta.

Skraćenice u katalogu su:

SG - spiralna galaksija

EG - eliptična galaksija

NG - nepravilna galaksija

PM - planetarna maglina

GM - galaktička maglina

KS - kuglasti skup

RS - rasijani skup

DM - difuzna maglina

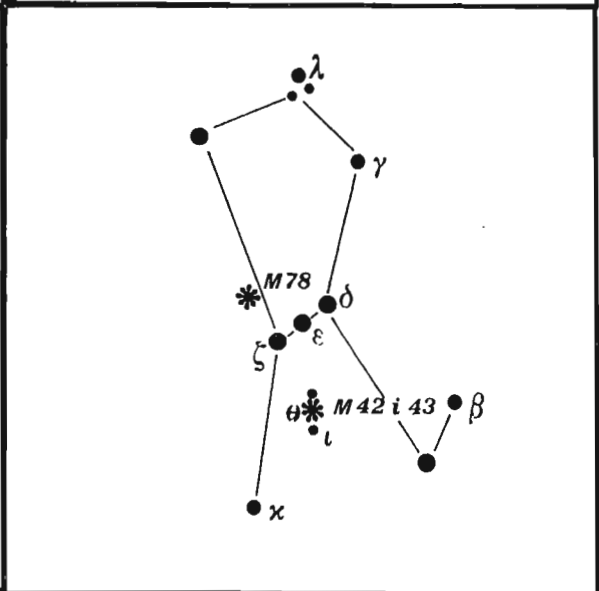
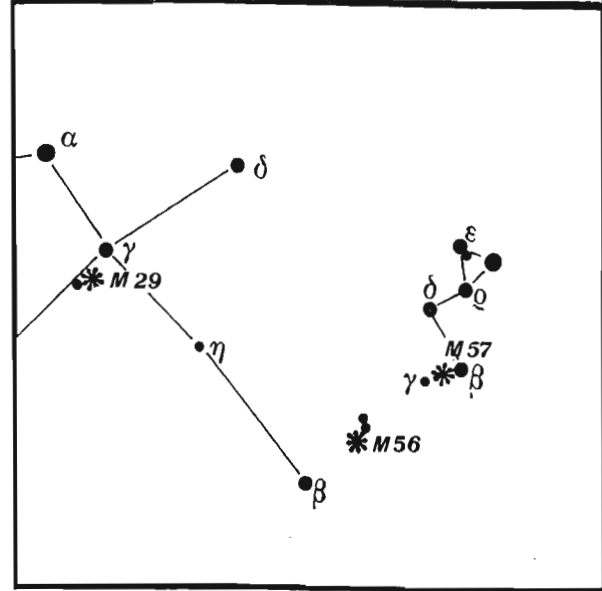
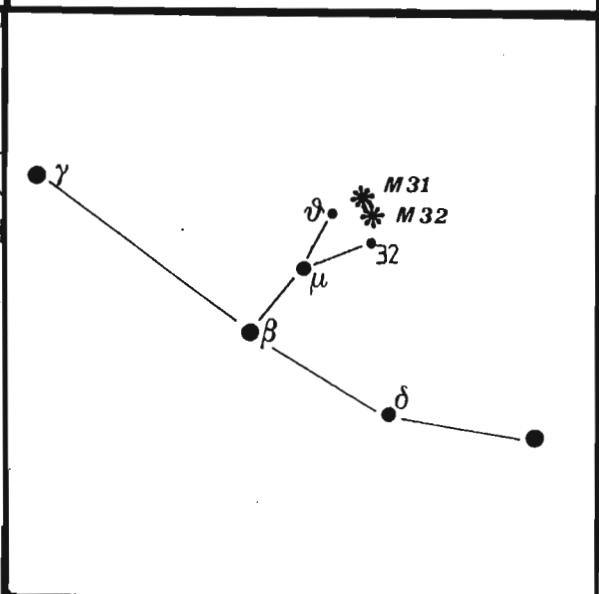
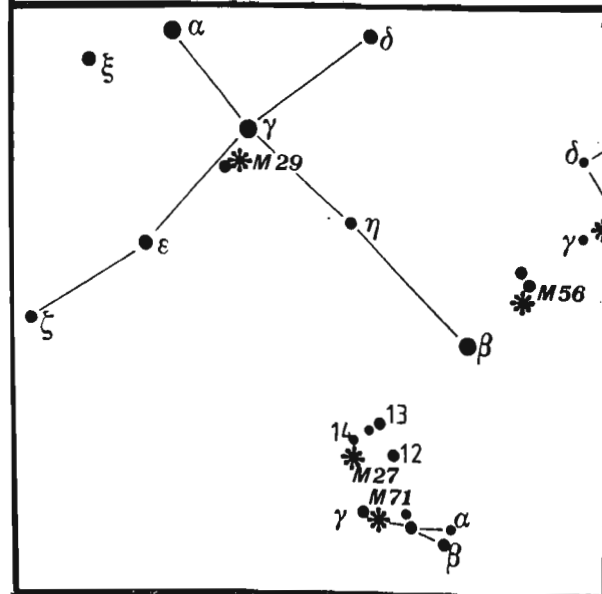
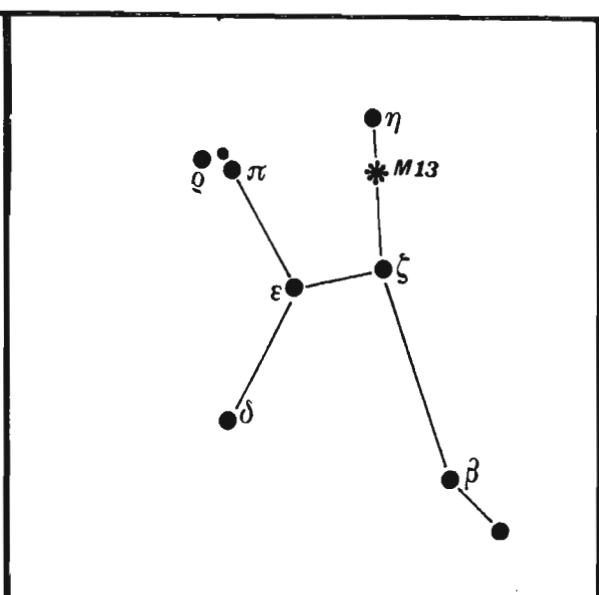
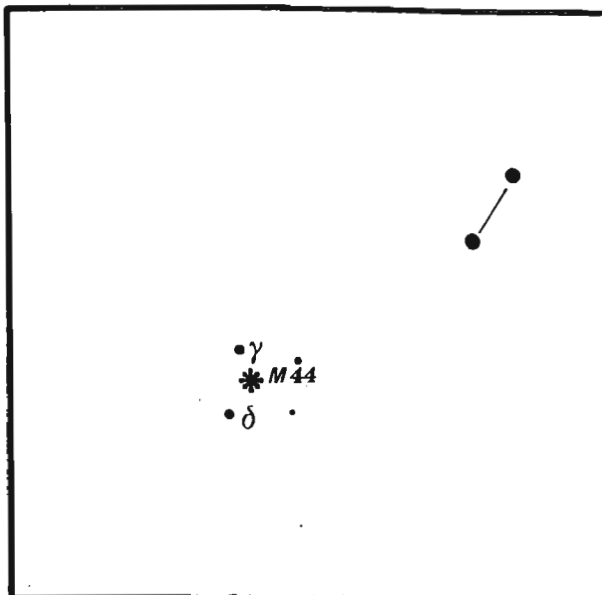
Dodatna objašnjenja za neke objekte iz kataloga:

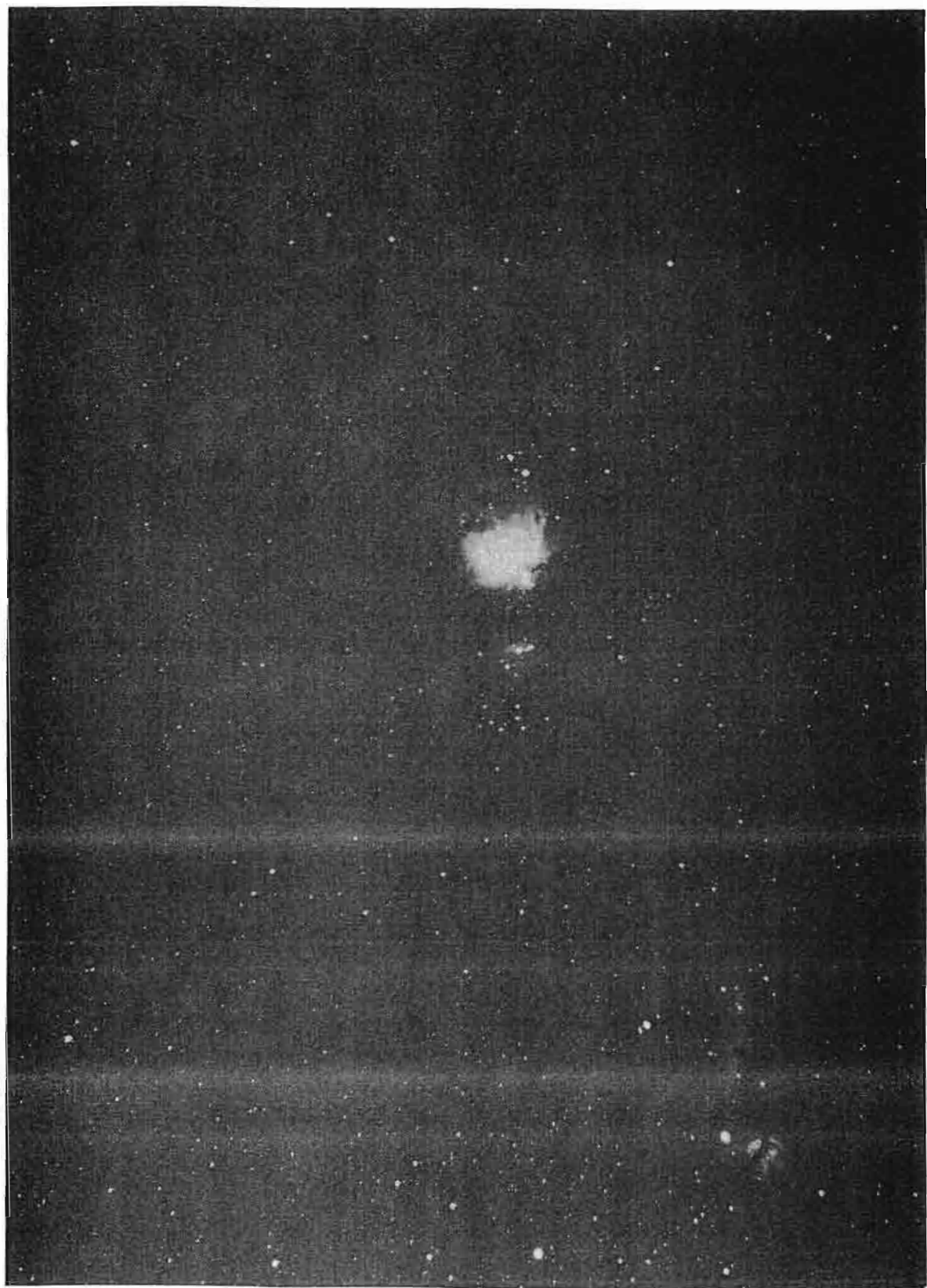
M.24 - onakav kakvog ga je Messier opisao, nije pravi rasijani skup već dio Mliječnog Puta bogat zvijezdama, sa srednjom prividnom veličinom od 4.6 magnituda. U njega je uključen rasijani skup NGC 6603 koji ima prividnu veličinu od 11.4 magnituda.

M 40 - Messierov mali instrument nije, izgleda, mogao razlučiti ove dvije zvijezde. Njemu su izgledale kao magličast objekat.

M 45 - (Plejade) nisu uključene u NGC.

M 47 - koji je Messier opisao kao rasijani skup, niko poslije njega nije mogao naći na tom mjestu. Kasnije je predloženo da oznaku M.47 dobije obližnji rasijani skup NGC 2478. Moguće je da je Messier pogriješio u određivanju koordinata skupa koji je vidio, te da je u pitanju čak i NGC 2422.





Fotografija br. 17. Predio u Orionu. Vidljivi su Konjska glava i sjajna maglina M 42.

CRTICE IZ MATEMATIČKE ASTRONOMIJE

76. Izračunavanje

koordinata

sistema horizonta

U ovom dijelu biće govora samo o izračunavanju položaja nebeskih objekata u koordinatnom sistemu horizonta. Poznavanje ovih koordinata omogućuje da se unaprijed izračuna vrijeme izlaska i zalaska objekata na nebu, te njihov položaj pri izlasku i zalasku ili položaj na nebu u određenom vremenskom trenutku. Ovi podaci su korisni za planiranje redosljeda posmatranja unaprijed da se ne bi gubilo dragocijeno vrijeme u toku vedre noći.

Koordinatni sistem horizonta ima dvije koordinate: visinu h i azimut A i obe su prikazane na slici 14, dok je smjer mjerenja koordinata označen strelicom. Visina na horizontu ima vrijednost 0° , a u zenitu 90° . Azimut u južnoj tački ima vrijednost 0° , u zapadnoj 90° , sjevernoj 180° i istočnoj 270° . Dva Mjesečeva ili Sunčeva prečnika imaju približno 1° . Ove dvije koordinate se prilično lako približno odrede, jer se od mladosti učimo orijentisati u prostoru pomoću njih. Obe su lokalnog karaktera, jer zavise od mjesta sa kojeg se posmatra pa prema tome različite za svakog posmatrača. Nisu podesne za komunikaciju među posmatračima, ali su zbog lakog približnog određivanja korisne. U geodeziji se azimut računa od sjevera ka istoku. Ovaj način mjerenja nam je bliži jer se podudara sa mjerenjem azimuta kompasom. Zbog toga ćemo i formulu (20) podesiti za takvo računanje azimuta.

Da bi se koordinate u sistemu horizonta izračunale, potrebne su trigonometrijske i logaritamske tablice ili računar kada da ih izračuna, lokalno zvjezdano vrijeme, rektascenzija i deklinacija objekta koji nas interesuje i geografska dužina i širina mjesta posmatranja. Rektascenziju i deklinaciju objekta moguće je naći u efemeridama i katalogima, a geografsku dužinu i širinu je moguće precizno odrediti sa geografskih karata velikog razmjera. Formule za računanje su:

$$h = \arcsin (\sin \delta \sin L + \cos \delta \cos L \cos HA) \quad (19)$$

$$A = \arccos \left(\frac{\sin \delta - \sin L \sin h}{\cos L \cos h} \right) \quad (20)$$

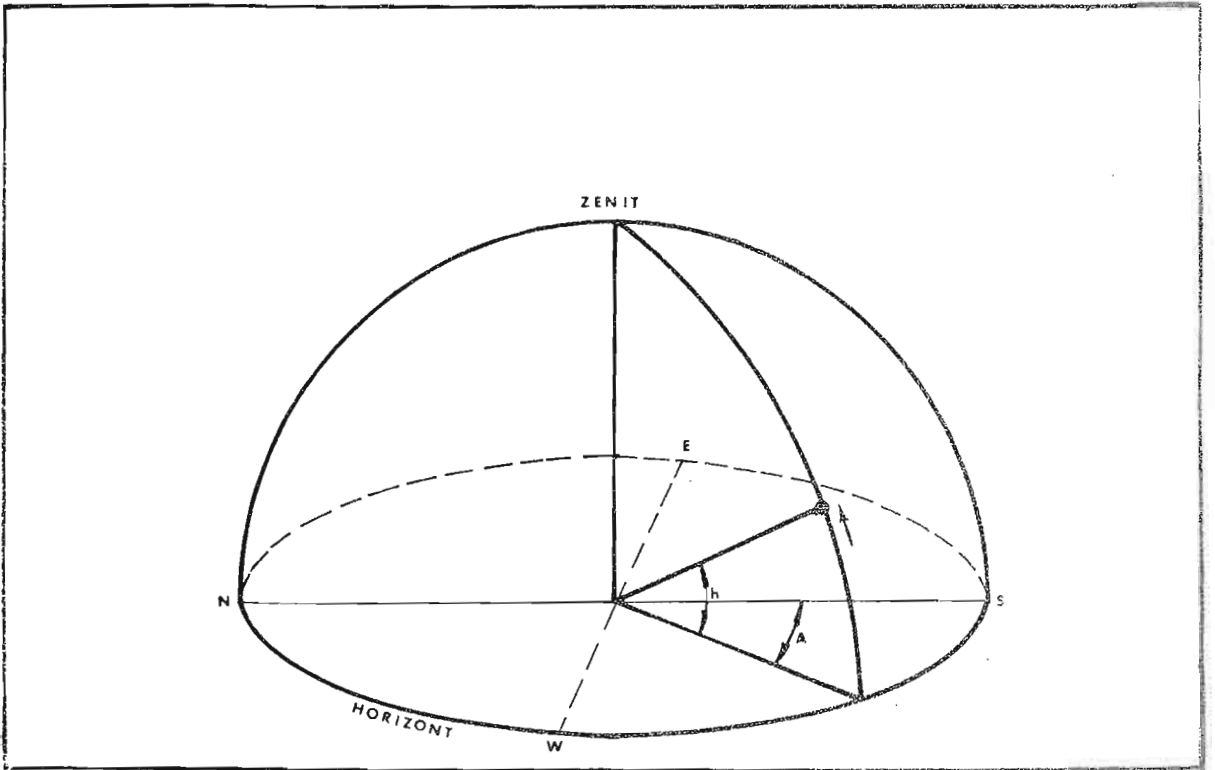
gdje je δ deklinacija objekta, L geografska širina mjesta posmatranja, A azimut objekta, h visina objekta i HA časovni ugao. Časovni ugao se lako računa po formuli:

$$HA = LZV - L \quad (21)$$

gdje je LZV lokalno zvjezdano vrijeme, a L rektascenzija objekta.

Sve ove veličine moraju biti izražene u stepenima i decimalnim dijelovima stepena.

Pri računanju azimuta treba obratiti pažnju na sljedeće. Ako je časovni ugao negativan formula (20) daje direktno azimut. Ako je časovni ugao pozitivan vrijednost koju daje formula (20) treba oduzeti od 360° da bi se dobio azimut.



Slika 75.

Primjer:

Recimo da želimo izračunati visinu i azimut Mjeseca pri njegovom djelimičnom pomračenju od 1.3.1980. godine. Neka posmatramo sa tačke čije su geografska širina L i dužina λ date sa:

$$L = 43^{\circ}50' = 43.83^{\circ}$$

$$\lambda = -16^{\circ}06' = 1.104^{\circ}$$

Vrijeme najveće faze pomračenja je $21^{\text{h}}46^{\text{m}}$ po srednjeevropskom vremenu ili $8^{\text{h}}30'$ lokalnog zvjezdanog vremena. Rektascenzija i deklinacija Mjeseca u tom trenutku su:

$$L = 10^{\text{h}}29' = 10.5^{\text{h}} \quad i$$

$$d = 10^{\circ}05' = 10.08^{\circ}$$

Ovaj podatak vadimo iz efemerida. Časovni ugao Mjeseca se lako izračunava:

$$HA = 10.5^{\text{h}} - 8.5^{\text{h}} = 2^{\text{h}} = 30^{\circ}$$

Kako je časovni ugao pozitivan, dobijenu vrijednost azimuta iz formule (20) moraćemo oduzeti od 360° da dobijemo pravi azimut. Uvrštavajući ove vrijednosti u jednačinu (19) izlazi:

$$h = 47^{\circ}30'$$

Uvrštavajući ih u formulu (20) dobijemo da je:

$$A = 133^{\circ}$$

Oduzimanjem ove vrijednosti od 360° konačna vrijednost azimuta je:

$$A = 227^{\circ}$$

računato istočno od sjevera. Znači da će se Mjesec tog datuma nalaziti $47,5^\circ$ iznad horizonta i 47° zapadno od juga. Ovo pomračenje se može posmatrati i snimati bez bojazni da će nam planine ili zgrade na horizontu smetati, jer je malo vjerovatno da budu toliko visoke.

Da je časovni ugao bio negativan, (20) bi direktno dalo azimut. Vrijednosti dobijene pri računanju su zaokružene. Ako je to potrebno i logaritamske tablice i računar mogu dati vrijednosti sa većom tačnošću od ove.

Tačku na horizontu u kojoj će izaći ili zaći neki nebeski objekat lako je izračunati ako su poznate širina mjesta posmatranja i deklinacija objekta. Koristi se formula:

$$\beta = \arcsin \left(\frac{\sin \delta}{\cos L} \right) \quad (22)$$

gdje je β ugao sjeverno (ako je $\beta > 0$) ili južno (ako je $\beta < 0$) od istoka (za objekat koji izlazi) ili zapadno (za objekat koji zalazi). U ovom slučaju $h = 0$.

Primjer:

Izračunaćemo položaj Sunca pri zalasku na ovaj isti datum. Deklinacija Sunca, iz efemerida, je

$$\delta = -7^\circ 36' = -7.6^\circ$$

Od ranije je $L = 43.83^\circ$. Formula (22) će nam dati

$$\beta = -10^\circ 33'$$

Sunce će zaći 10.5° južno od zapada. Ono će i izaći 10.5° južno od istoka tog istog dana. Azimut je u prvom slučaju 259.5° , a u drugom 100.5° .

Nekad će nam biti potrebno vrijeme izlaska i zalaska nebeskih tijela i njihovog prolaza kroz meridijan (gornja kulinacija).

Daćemo formule za izračunavanje časovnog ugla nebeskih tijela pri izlasku i zalasku odakle je moguće izračunati srednjeevropsko vrijeme. Časovni ugao izlaza i zalaza određuje se po formuli:

$$HA = \arccos \frac{\cos(90^\circ + \rho + R - p) - \sin L \sin \delta}{\cos L \cos \delta} \quad (23)$$

gdje je ρ refrakcija na horizontu (obično jednaka $35'$), R radius objekta, a p dnevna horizontalna paralaksa. Za Mjesec je $R = 16'$, $p = 58'$ i $\rho = 35'$ pa gonja formula postaje:

$$HA = \arccos \frac{\sin 7' - \sin L \sin \delta}{\cos L \cos \delta} \quad (24)$$

Za slučaj računanja časovnog ugla izlaza i zalaza Sunca p se može zanemariti, a $R = 16'$ i $\rho = 35'$ pa imamo sljedeću formulu:

$$HA = \arccos \frac{-\sin 51' - \sin L \sin \delta}{\cos L \cos \delta} \quad (25)$$

U slučaju tačkastih objekata zanemaruje se i njihov radius pa ostaje:

$$HA = \arccos \frac{-\sin 35' - \sin L \sin \delta}{\cos L \cos \delta} \quad (26)$$

Ako nam ne trebaju precizni podaci možemo zanemariti i refrakciju pa nam preostaje pojednostavljena formula:

$$HA = \arccos (- \operatorname{tg} \delta \operatorname{tg} \varphi) \quad (27)$$

Časovni ugao sa vrijednošću $0^\circ - 180^\circ$ označavamo sa HA_i i nazivamo časovnim uglom izlaza, a časovni ugao sa vrijednošću $180^\circ - 360^\circ$ označavamo sa HA_z i nazivamo časovni ugao zalaza. Mjesno zvjezdano vrijeme izlaza i zalaza se određuje po:

$$s_i = \mathcal{L}_i + HA_i$$

$$s_z = \mathcal{L}_z + HA_z$$

gdje su \mathcal{L}_i i \mathcal{L}_z rektascenzija objekta u trenutku izlaza i zalaza data u efemeridama. Mjesno zvjezdano vrijeme se može prevesti u srednjeevropsko vrijeme.

Primjer:

Određićemo vremena izlaska i zalaska Sunca iz prethodnog primjera. Prvo ćemo $51'$ prevesti u dijelove stepena. To je 0.85° . Formula (25) daje:

$$HA = 83.83^\circ = 83^\circ 50'$$

Da izračunamo koliko je to u časovnoj mjeri dijelimo sa $15^\circ = 1^h$ i dobijamo:

$$HA = 5.58^h = 5^h 35^m$$

Pojednostavljena formula (27) daje:

$$HA = 5.50^\circ = 5^h 30^m$$

što je zgodno koristiti za provjeru rezultata. Vidimo da pojednostavljenje (27) ne unosi veliku grešku.

Prevođenjem na zvjezdano vrijeme pomoću formule (28) i efemeriča dobijamo vrijeme zalaska Sunca $t = 17^h 37^m$ po srednjeevropskom vremenu.

S a d r ž a j

1. Metodi snimanja Mjeseca i planeta	7
2. Određivanje ekspozicije i tehnika snimanja Mjeseca i planeta	10
3. Fotolaboratorijska obrada	14
4. Specijalne tehnike u obradi astronomskih fotografija	16
5. Snimanje galaksija	19
6. Ogledalo teleskopa	20
7. Proračunavanje udubljenja i njegovo mjerenje	23
8. Brušenje ogledala	25
9. Pripremanje matrice za ogledalo	28
10. Optičke kontrole	30
11. Poliranje ogledala	34
12. Grafički prilaz Foucault-ovoj metodi polusjena ..	35
13. Parabolizacija ogledala	39
14. Uvećanje teleskopa	40
15. Uvećanje teleskopa kao kamere	43
16. Razmjer fotoploče	44
17. Moć razdvajanja teleskopa	47
18. Optička moć teleskopa	51
19. Granična ekspozicija i granična magnituda	55
20. Oko kao prijemnik zračenja	58
21. Slejdov ili ugravirani mikrometar	64
22. Prstenasti mikrometar	65
23. Mikrometar sa presječenim krstom	68
24. Mikrometar sa koncima	69
25. Neki praktični problemi izrade mikrometara	70
26. Sastav atmosfere i njene propusne karakteristike.	74
27. Atmosferska vlažnost	75
28. Rosa	76
29. Astronomsko "viđenje"	76
30. Filteri	78
31. Faza tankog srpa	82

32.	Tri dana poslije Mladog Mjeseca	82
33.	Peti dan	83
34.	Prva četvrt	84
35.	Deveti dan	85
36.	Jedanaesti dan	87
37.	Trinaesti dan	88
38.	Mjesec i amater	88
39.	Pravo Sunčevo vrijeme	90
40.	Srednje Sunčevo vrijeme	90
41.	Jednačina vremena	90
42.	Griničko vrijeme	91
43.	Efemeridno vrijeme	91
44.	Standardno ili zonsko vrijeme	91
45.	Julijanski dan	92
46.	Sunčev dan	92
47.	Zvezdano vrijeme	92
48.	Opservatorijski časovnik	93
49.	Meteorski potoci	96
50.	Fotografska posmatranja meteora	97
51.	Obrtator u meteorskoj fotografiji	100
52.	Komete	101
53.	Traženje kometa vizuelnim putem	104
54.	Fotografsko traženje kometa	106
55.	Fotografska i polarizaciona posmatranja kometa	108
56.	Sjaj i boja zvijezda	110
57.	Spektralni tipovi zvijezda	113
58.	Hertzprung-Russell-ov dijagram	119
59.	Evolucija zvijezda	121
60.	Prašina u međuzvezdanom prostoru	125
61.	Gas u međuzvezdanoj sredini	127
62.	Galaktička struktura	130
63.	Rasijani skupovi	136
64.	Kuglasti skupovi	137
65.	Određivanje udaljenosti skupa po promjeni boje	138

66. Određivanje starosti skupa	139
67. Cephei	142
68. Ceti	143
69. Lyrae	144
70. Persei	144
71. Casto	147
72. Kruger 60	148
73. Ursa Majoris	148
74. Sirius	149
75. Messierov katalog	152
76. Izračunavanje koordinata sistema horizonta	158