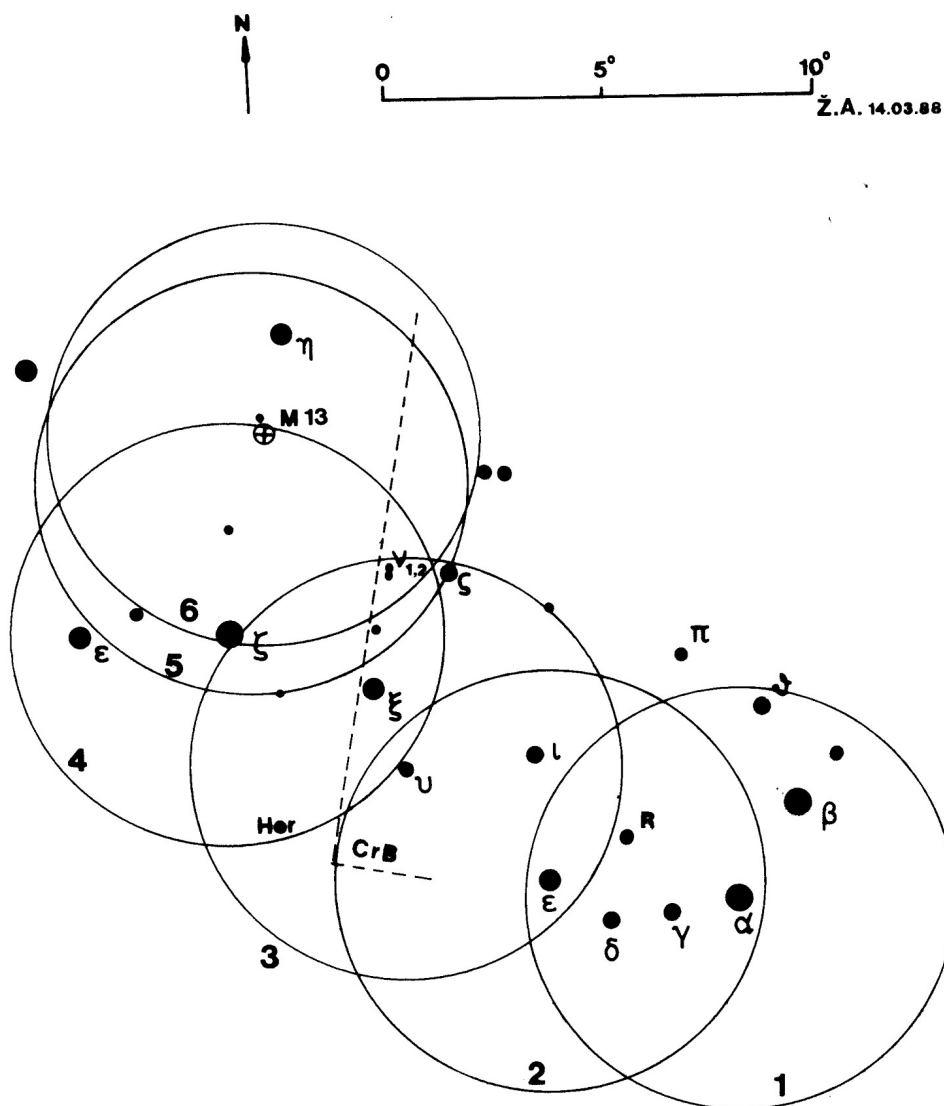


Željko Andreić

# CRTICE IZ PRAKTIČNE ASTRONOMIJE



**Primjenjuje se Creative Commons autorskopravna licenca CC-BY-SA 4.0**

**V1.000 23.5.2024.**

## RIJEČ AUTORA

Ovaj tekst nije zamišljen kao klasična knjiga, nego kao zbirka kraćih tekstova nastalih u posljednjih četrdesetak godina za potrebe raznih ljetnih škola, kampova ili jednostavno mojih osobnih astronomskih opažanja. Neka Vas zato ne čudi neujednačenost u stilu i izričaju pojedinih tekstova, niti kvaliteta slika koje su najčešće jednostavne skice ili crteži iz računala.

Dio tekstova pokriva praktične vještine koje smo u tim prošlim vremenima pokušavali njegovati na već spomenutim školama i tečajima, a mislim da su i danas bitni, možda ne za svakodnevnu upotrebu, ali svakako za razumijevanje modernih načina opažanja koji uglavnom počinju i završavaju klikanjem po ekranu računala koje na sebe preuzima odrađivanje odabranih zadataka.

Drugi dio posvećen je temeljima opažačke astronomije, od opažanja golim okom pa do opažanja (danas manjim) amaterskim teleskopima.

I na kraju, tu je i dio o samogradnji jednostavnih pomagala i instrumenata metodama i alatom iz naše svakodnevne okoline, pa su one pristupačne i učenicima i svima onima koji žele nešto izraditi sami a da pri tome ne moraju posjedovati vrhunske praktične vještine i alat.

S obzirom na ovakvu raznovrsnost tekstova u ovoj zbirci, prirodno je i sasvim normalno ne čitati je od početka do kraja, nego u dijelovima i samo ono što Vas od svega toga trenutno zanima. Nadam se da će ipak ova zbirka tekstova naći svoje poklonike. Trudio sam se ipak da pojedini tekstovi budu dovoljno razumljivi i kompletni, ili, u slučaju potrebe, dopunjeni informacijama iz ostalih tekstova u zbirci. Koliko sam u tome bio uspješan, vrijeme će pokazati.

Merenje, svibanj 2024.

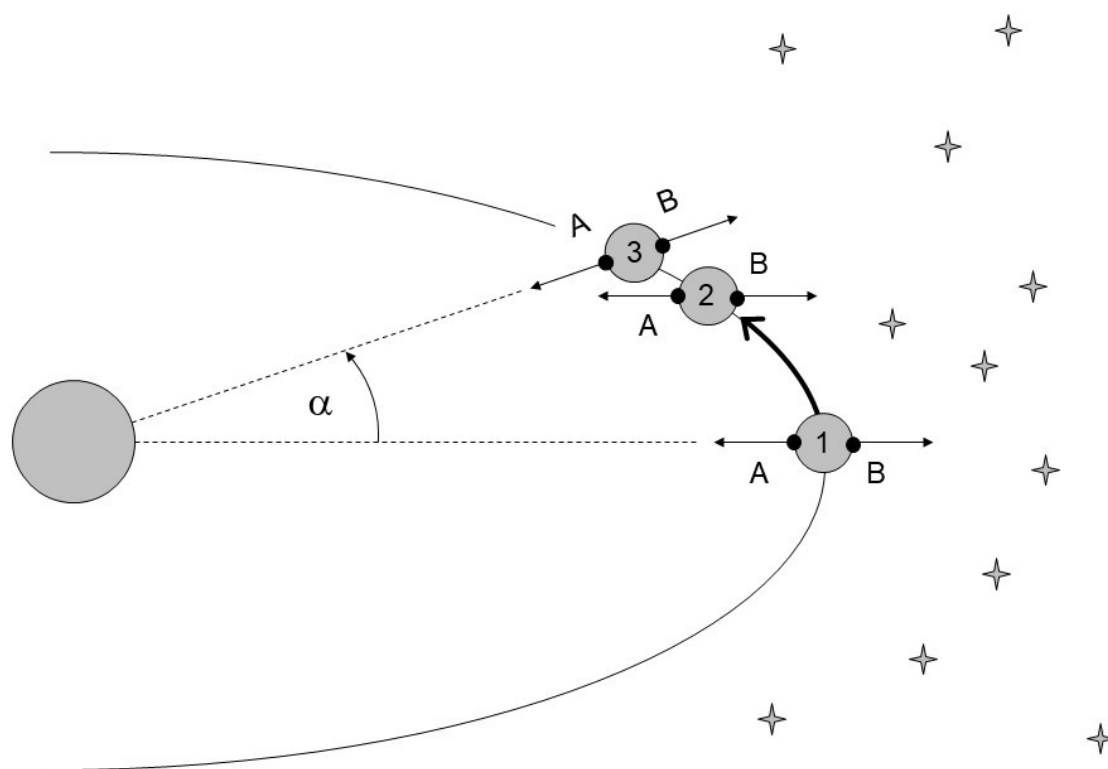
Željko Andreić

## SADRŽAJ

RIJEČ AUTORA.....	3
SADRŽAJ.....	4
GIBANJE ZEMLJE U PROSTORU.....	6
SFERNA ASTRONOMIJA.....	12
Horizontski koordinatni sustav.....	15
Dnevno gibanje zvijezda.....	17
Nebeski pol i ekvator.....	20
Ekvatorski koordinatni sustavi.....	21
VRIJEME U ASTRONOMIJI.....	28
Mjesno vrijeme.....	28
Mjesno zvjezdano vrijeme.....	31
UVOD U PRAKTIČNU ASTRONOMIJU.....	35
Sunce i njegova sjena.....	35
Mjerenje kuteva na nebeskom svodu.....	37
Skala zvjezdanih veličina.....	38
Granična zvjezdana veličina.....	40
Ekstinkcija.....	41
Refrakcija.....	43
Ocjena stanja atmosfere.....	44
Svjetlina noćnog neba i svjetlosno onečišćenje.....	48
Planiranje opažanja.....	50
KAKO RADI TELESKOP?.....	51
Mala povijest teleskopa.....	52
Optička svojstva teleskopa.....	54
Zenit-prizma.....	60
Orijentacija slike u teleskopu.....	62
Mjerenje vidnog polja i povećanja teleskopa.....	63
Nalaženje slabih objekata.....	65
OPAŽANJE NEBESKIH OBJEKATA.....	71
Sunce.....	71
Određivanje aktivnosti Sunca.....	75
Mjesec.....	77
Upoznajmo Mjesečeve mijene.....	79
Opažanje Mjeseca golim okom.....	81
Crtanje mjesečevog diska.....	82
Opažanje Mjeseca dvogledom.....	84
Crtanje detalja mjesečeve površine.....	86
Opažanje Mjeseca teleskopom.....	87
OPAŽANJE PLANETA.....	88
Unutarnji planeti.....	88
Merkur.....	90

Venera.....	91
Vanjski planeti.....	93
Mars.....	94
Jupiter.....	96
Saturn.....	98
Uran.....	100
Neptun.....	101
Pluton.....	102
Zemlja.....	104
MALA TIJELA SUNČEVOG SUSTAVA.....	105
Meteori.....	105
Kometi.....	109
Opažanje kometa.....	110
Opažanje asteroida.....	111
OPAŽANJE ZVIJEZDA I MAGLICA.....	114
Dvojne zvijezde.....	114
Nalaženje i opažanje dvojnih zvijezda.....	117
Crtanje dvojnih zvijezda.....	119
Promjenjive zvijezde.....	119
Pomrčinski promjenjive zvijezde.....	119
Cefeide.....	120
Dugoperiodično promjenjive zvijezde.....	120
Nepravilno promjenjive zvijezde.....	120
Nove i supernove zvijezde.....	120
Opažanje promjenjivih zvijezda.....	121
OPAŽANJE MAGLICA.....	124
Otvoreni zvjezdani skupovi.....	125
Kuglasti skupovi.....	125
Difuzne maglice.....	126
Tamne maglice.....	126
Planetarne maglice.....	126
Galaksije.....	127
Crtanje maglica.....	127
POJAVE NA DNEVNOM NEBU.....	128
IZRADA JEDNOSTAVNOG SUNČEVOG SATA.....	129
ZVJEZDANI SAT.....	132
Kvadrant.....	137
TELESKOP IZ LEĆA ZA NAOČALE.....	140
Objektiv.....	140
Cijev teleskopa i kućište objektiva.....	145
Okular i okularna cijev.....	149
Vidno polje kod malih povećanja.....	150
Zasloni i pokusi sa njima.....	151
Čišćenje i održavanje leća.....	151
Stalak.....	152

## GIBANJE ZEMLJE U PROSTORU



**Slika 1:** U položaju 1 opažač A gleda točno prema Suncu a opažač B prema zvijezdama. Nakon nekog vremena vrtnja Zemlje opažača B vrati u isti položaj prema zvijezdama. No opažač u točki A, koji dužinu dana mjeri prema Suncu, nije još došao u isti položaj prema Suncu jer je Zemlja istovremeno prešla dio puta po svojoj stazi oko Sunca i Sunce više nije u istom smjeru kao dan ranije. Zato se Zemlja mora još malo zaokrenuti da bi točka A opet došla točno u smjer Sunca (položaj 3). Vrijeme potrebno za taj dodatni zaokret (kut  $\alpha$  na slici) je razlika između sunčevog i zvjezdanog dana i iznosi oko 4 min.

Dok obavljamo svoje svakodnevne poslove i obaveze ne osjećamo da se Zemlja stalno giba kroz prostor. Ipak, posljedice tog gibanja utječu na naš život i na svijet oko nas. Gibanje Zemlje vrlo je složeno i sastavljeno je od nekoliko osnovnih gibanja koja se istovremeno odvijaju. Najvažnija od tih gibanja su vrtnja oko vlastite osi, obilazak oko Sunca te zajedno sa Suncem kruženje oko središta mliječnog puta.

Najlakše primjećujemo vrtnju Zemlje oko vlastite osi (tzv. rotacija). Ona izaziva smjenu dana i noći. Vidimo da Sunce izlazi na istoku, giba se preko nebeskog svoda, i zalazi na zapadu.

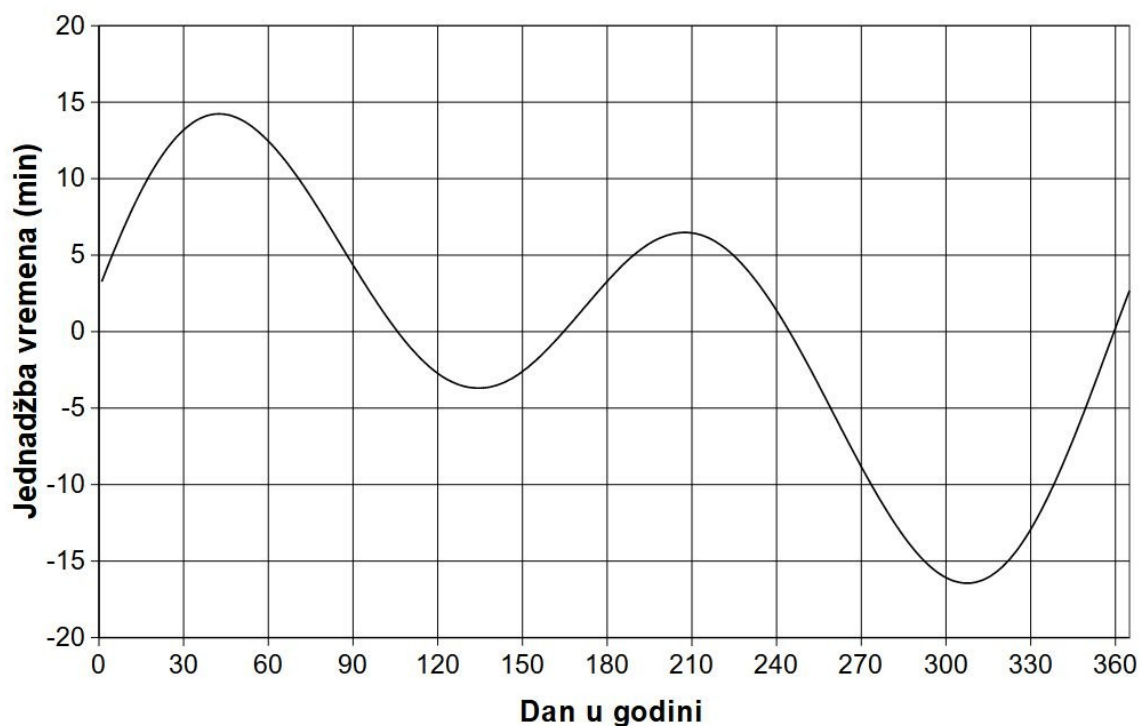
Noću opažamo da se noćno nebo giba, vrteći se u smjeru zapada oko zamišljene nebeske osi. Ali zapravo, Sunce i zvijezde miruju, a Zemlja se vrti oko vlastite osi u smjeru od zapada prema istoku, trošeći za jedan okret vrijeme koje nazivamo jedan dan. S obzirom na to da je ovo okretanje jednoliko, mi ga ne osjećamo pa nam se čini da se nebeski svod vrti oko nas na suprotnu stranu. Put koji Sunce u toku dana prevali po nebeskom svodu naziva se dnevni put Sunca. On počinje na istočnoj strani obzora, na mjestu gdje ujutro Sunce izlazi nad njega. U toku dana se Sunce uspinje po nebeskom svodu gibajući se u smjeru juga gdje se u podne nađe na najvišoj točki svoga puta (tzv. kulminacija Sunca). Nakon podneva Sunce se spušta prema zapadnom obzoru gdje navečer zalazi. Ostatak svog prividnog puta po nebeskom svodu Sunce proputuje ispod obzora da bi se idućeg dana opet pojavilo na istoku. Vrijeme potrebno da se nakon zalaza Sunce toliko spusti ispod obzora da se njegovo svjetlo sasvim izgubi i da nastupi noć naziva se sumrak. Isto toliko vremena traje svitanje.

Odredimo li trenutak kad se Sunce nađe u najvišoj točki svog dnevnog puta (kulminacija) pa izmjerimo vrijeme koje protekne do njegove iduće kulminacije, izmjerili smo trajanje dana. Ovaj dan naziva se i sunčev dan jer se mjeri prema Suncu. Cijeli naš život organiziran je u harmoniji sa sunčevim danom: ujutro se budimo i ustajemo, danju radimo, navečer liježemo i noću spavamo. Da bismo ga lakše mjerili, dan je podijeljen na 24 sata od po 60 minuta svaki.

Pokušamo li na sličan način izmjeriti trajanje dana mjerenjem vremena proteklog između dvije uzastopne kulminacije neke zvijezde stajačice, rezultat će nas iznenaditi: 23 sata 56 minuta, mjereno sunčevim vremenom. Zvezdani dan kraći je od sunčevog za čitave 4 minute! Razlika koja se nikako ne može objasniti sve dok se ne sjetimo da se Zemlja, pored vrtnje oko vlastite osi, istovremeno giba i oko Sunca. Ovo gibanje naziva se revolucija. Pogledamo li na sliku 1, stvari će nam postati jasnije. Zvijezde su tako daleko da su praktički nepomične. Mjereći vrijeme rotacije Zemlje prema zvjezdama, mjerimo vrijeme potrebno da se Zemlja okrene oko svoje osi za jedan puni krug, nakon čega ćemo neku zvijezdu opet vidjeti u istom smjeru u kojem smo je vidjeli dan ranije. Međutim, za to vrijeme, Zemlja je prešla jedan mali dio svoje staze oko Sunca. Gledano prema Suncu, zbog tog prijeđenog dijela staze Sunce se prividno malo pomaklo na nebeskom svodu i nije u istom smjeru u kom je bilo dan ranije. Onih 4 minute, koliko je sunčev dan duži od zvezdanog, potrebno je da se Zemlja zaokrene za kut prividnog pomaka Sunca na nebeskom svodu (kut  $\alpha$  na slici 1). Sjetimo li se da obilazak Zemlje oko Sunca traje godinu dana, lako ćemo ustanoviti da taj dodatni kut za koji se Zemlja treba zaokrenuti iznosi nešto manje od 1 stupnja po danu ( $360^\circ$  podijeljeno sa 365 dana). One četiri minute, koliko je sunčev dan duži od zvezdanog, utroši se na zaokretanje za taj dodatni kut i zato je sunčev dan četiri minute duži od zvezdanog.

No ni uz to svi naši problemi sa gibanjem Zemlje ni izdaleka nisu riješeni. Budući da je staza Zemlje oko Sunca eliptičnog a ne kružnog oblika, putevi koje Zemlja po njoj prevali za jedan dan mijenjaju se kroz godinu (Keplerovi zakoni!). Kad je bliža Suncu, Zemlja se giba nešto brže pa prevali malo veći put i obratno. To znači da se trajanje svakog dana kroz godinu malo razlikuje od prethodnog ili slijedećeg dana. Srećom ove razlike nisu velike jer se zemljina staza vrlo malo razlikuje od kružnice, ali se mogu primijetiti i mjeriti. Sve se ponavlja na isti način nakog godine dana. U svakodnevnom životu ove razlike se zanemaruju i koristi se uvijek isto, srednje trajanje dana, koje se naziva srednji sunčev dan. Vrijeme koje koristimo u svakodnevnom životu u skladu sa time naziva se srednje sunčevo vrijeme, ili češće samo srednje vrijeme. Ovo vrijeme teče jednoliko, pa se lako mjeri i po njemu se lako ravna.

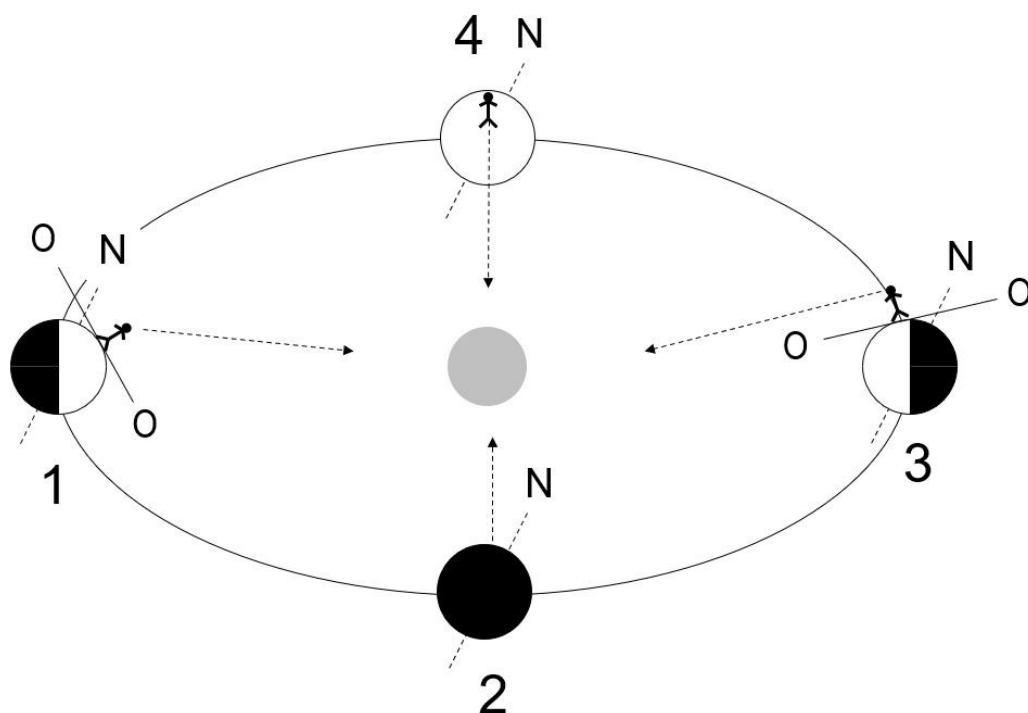
Vrijeme mjereno prema Suncu naziva se pravo Sunčevo vrijeme. Razlika između srednjeg i pravog Sunčevog vremena mijenja se u toku godine, ali nikad nije veća od oko četvrt sata. Ta razlika naziva se *jednadžba vremena* i prikazana je grafički na slici 2.



**Slika 2:** Razlika između pravog i srednjeg sunčevog vremena (jednadžba vremena). Kad je jednadžba vremena pozitivna, Sunce ide "naprijed" pa sunčevi satovi žure, i obratno. Na osi apscisa nanesen je redni broj dana u godini, a na ordinati je vrijednost jednadžbe vremena u minutama. Prijestupna godina naravno ima dan više, ali razlike su tako malene da su zanemarene i grafikon, iako je priređen za običnu godinu, jednako vrijedi i za prijestupnu godinu.

Ako želimo odrediti točan trenutak kulminacije Sunca, moramo znati ovu razliku da bismo mogli izračunati kada će po srednjem vremenu (dakle po našim satovima) pravo sunčevo vrijeme biti točno 12 sati. U tom trenutku će se Sunce nalaziti u kulminaciji, dakle točno u smjeru juga, ili kako se to stručno kaže, u (nebeskom) meridijanu.

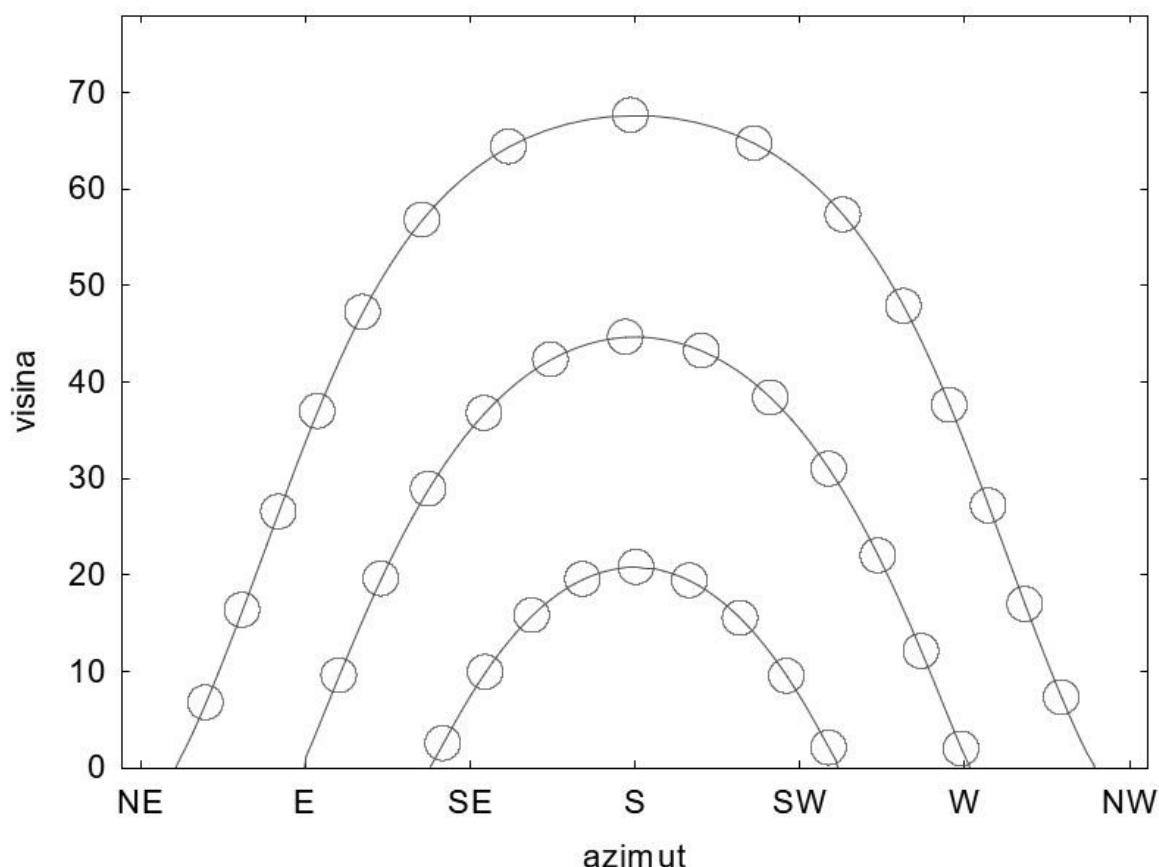




**Slika 3:** Zbog nagiba zemljine osi nastaju razlike u visini Sunca nad obzorom u toku godine. Tako je kod ljetnog solsticija (1) gornji (sjeverni) dio Zemljine osi nagnut prema Suncu pa se Sunce diže visoko iznad obzora (predstavljenog linijom OO). Pola godine kasnije, u zimskom solsticiju (3) sjeverna strana osi je nagnuta od Sunca pa se Sunce giba nisko nad obzorom. Situacija na južnoj polutci je naravno obrnuta jer kad je sjeverna strana osi nagnuta od Sunca, južna je nagnuta prema njemu, pa kad kod nas vlada zima, na južnoj polutci je ljeto i obratno. U položajima (2) i (4) dolazi do ravnodnevnica (ekvinocija).

Slijedeća posljedica gibanja Zemlje oko Sunca je izmjena godišnjih doba. Ona nastaje zbog toga što Zemljina os rotacije nije okomita na ravninu ekliptike, već je nagnuta prema okomici na nju za oko  $23,5^\circ$ . Kako se smjer osi rotacije u prostoru ne mijenja, dolazi do promjene visine Sunca na nebeskom svodu u toku godine. Drugim riječima, najveća visina Sunca na nebeskom svodu, koju Sunce postiže kod prolaska kroz meridijan, mijenja se kroz godinu. Kad je os rotacije svojim sjevernim dijelom (ljetni solsticij na slici) nagnuta prema Suncu, Sunce se u toku dana penje visoko na nebeski svod i veći dio dana provodi iznad obzora pa dan traje dulje od noći. Zbog velike visine Sunca zagrijavanje tla je jako, pa na sjevernoj polutci vlada ljeto. Oko tri mjeseca kasnije, Zemlja će doći u jesenski ekvinocij. Sunce će se prividno gibati po nebeskom ekvatoru, pa će iznad obzora boraviti 12 sati i trajanje dana će biti jednako trajanju noći. Zagrijavanje tla se smanjuje i nastupa jesen. Nakon daljnja tri mjeseca Zemlja dolazi u zimski solsticij u kojem je sjeverni dio osi najviše otklonjen od Sunca, Sunce se giba nisko nad obzorom i dan je kratak, a zbog smanjenog zagrijavanja tla vlada zima. Iza toga Zemlja dolazi u proljetni ekvinocij kada se Sunce opet giba po nebeskom

ekvatoru. Dani se produljuju, zagrijavanje tla se pojačava i nastupa proljeće. Tri mjeseca iza toga, Zemlja se opet nalazi u ljetnom solsticiju, i ciklus godišnjih doba se ponavlja.



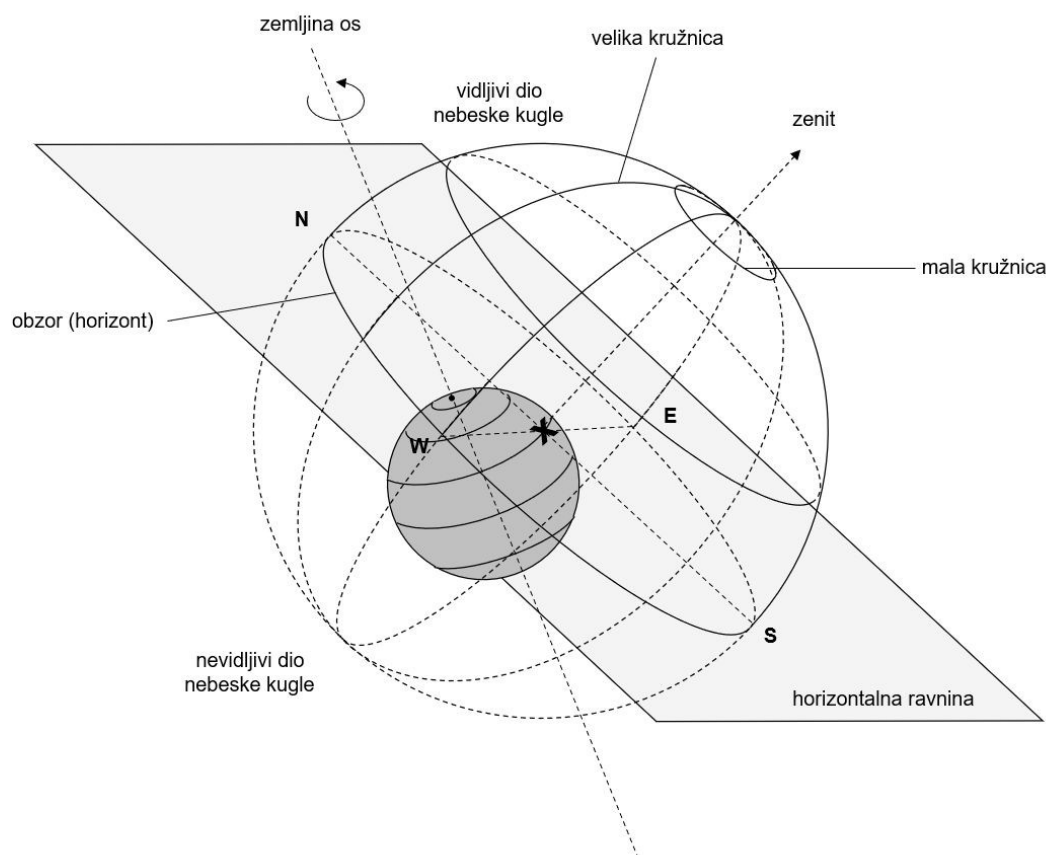
**Slika 4:** Gledano sa površine Zemlje, prividni put Sunca po nebeskom svodu u toku dana mijenja se kroz godinu. Ljeti se Sunce diže visoko nad obzor i duže ostaje nad njim nego zimi kad je nisko i kad dan traje mnogo kraće. Slika odgovara našim zemljopisnim širinama (oko  $45^\circ$ ).

Pažljivo opažanje pokazuje da se tokom godine Sunce polagano giba po nebeskom svodu slijedeći stazu koja se također naziva ekliptikom jer predstavlja projekciju Zemljine staze na nebeski svod. Ekliptika je prema nebeskom ekvatoru nagnuta za  $23,5^\circ$ , koliko iznosi nagib Zemljine osi, pa se Sunce u toku svog godišnjeg puta po njoj neki puta nađe iznad a neki puta ispod nebeskog ekvatora. Trenutak u kojem se ono nalazi najviše iznad nebeskog ekvatora uzima se za početak ljeta i naziva se ljetnim solsticijem (ljetni suncostaj). Iz ove točke Sunce se spušta prema nebeskom ekvatoru, da bi oko tri mjeseca kasnije prešlo na drugu nebesku polutku, ispod nebeskog ekvatora. Točka u kojoj ekliptika siječe nebeski ekvator i u kojoj Sunce prelazi sa sjeverne na južnu nebesku polutku naziva se jesenska točka. Trenutak prolaska Sunca kroz nju uzima se za početak jeseni. Ovaj trenutak naziva se jesenska ravnodnevica ili ekvinocij jer je tada trajanje dana jednako trajanju noći.

Nakon daljnja tri mjeseca Sunce će na svom putu po ekliptici doći u njenu najnižu točku, i taj trenutak uzima se za početak zime (zimski solsticij ili zimski suncostaj). Iza toga se Sunce opet počinje penjati po nebeskom svodu približujući se nebeskom ekvatoru. Točka u kojoj ekliptika siječe nebeski ekvator i u kojoj Sunce prelazi sa južne na sjevernu nebesku polutku naziva se proljetnom točkom. Trenutak prolaska Sunca kroz nju uzima se za početak proljeća. To je trenutak proljetne ravnodnevnice (ekvinocija). Proljetna točka služi i kao ishodište nebeskog koordinatnog sustava.

Tu priči nije kraj, jer cijeli sunčev sustav kruži po eliptičnoj putanji oko središta naše galaksije. Na isti način na koji planeti obilaze oko Sunca, vezani za njega njegovom privlačnom silom (gravitacijom) i Sunce putuje oko središta naše galaksije vezano za nju galaktičkim gravitacionim poljem. Ali ni sama galaksija nije nepomična, već se giba kroz svemir pod utjecajem gravitacijskih sila drugih galaksija, jata galaksija i ...? Neka od tih gibanja odavno su nam poznata, ali neka još uvijek otkrivamo i ispitujeemo. Nedavno je tako otkrivena čudna nepravilnost u gibanju galaksija u blizini Mliječnog puta, koja bi se mogla objasniti neuobičajeno brzim gibanjem naše galaksije u određenom smjeru. Što se u tom smjeru nalazi, nije nam još poznato kao ni to, da li se zaista radi o gibanju naše galaksije ili o nekoj drugoj pojavi...

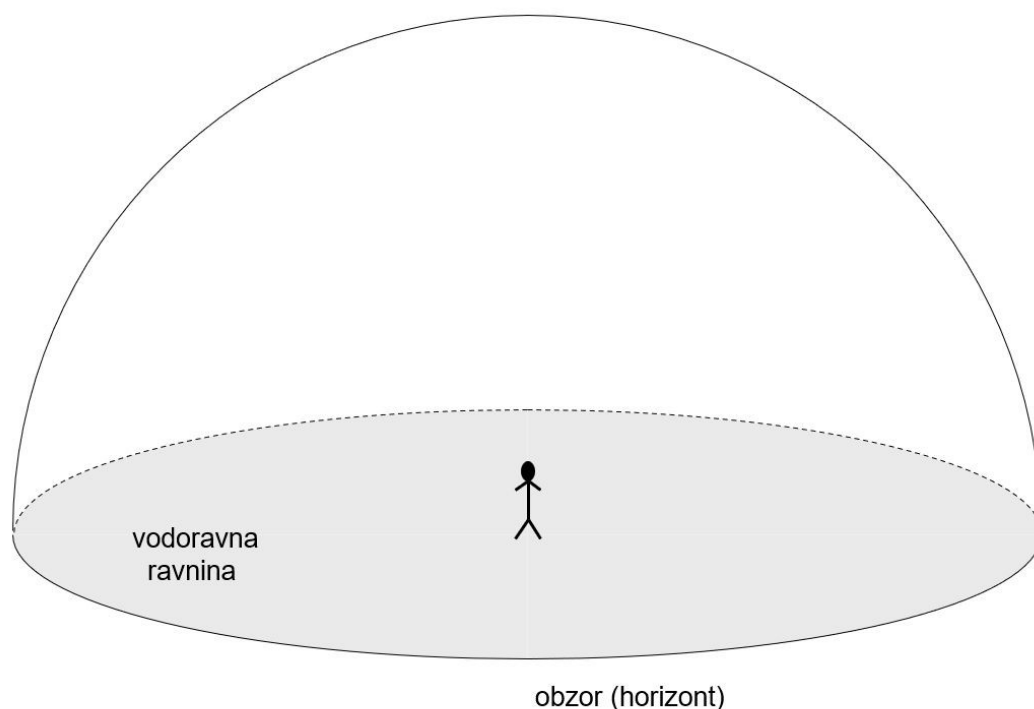
## SFERNA ASTRONOMIJA



**Slika 5:** Skiciranje nebeske kugle. U središtu nebeske kugle, na površini Zemlje, na skici označen kao "X", smješten je opažač. Njegova ravnina obzora (horizontalna ravnina) određuje obzor na nebeskoj kugli. U stvarnosti je nebeska kugla mnogo puta veća od Zemlje, pa se Zemlja sažima u točku smještenu u središte skice.

Ako ste pomislili da se iza naziva sferna astronomija krije mnoštvo složenih formula i računa sasvim ste u pravu. No i u ovom dijelu astronomije rješavanje mnogih složenih problema započinje crtanjem jednostavnih skica na kojima se može zorno proučiti problem i otkriti put do njegova rješenja. Za crtanje takvih skica ne trebaju nikakve formule ni proračuni već samo olovka, papir i malo astronomskog znanja. I naravno, treba malo mućnuti glavom kako bi crtež ispao kako treba!

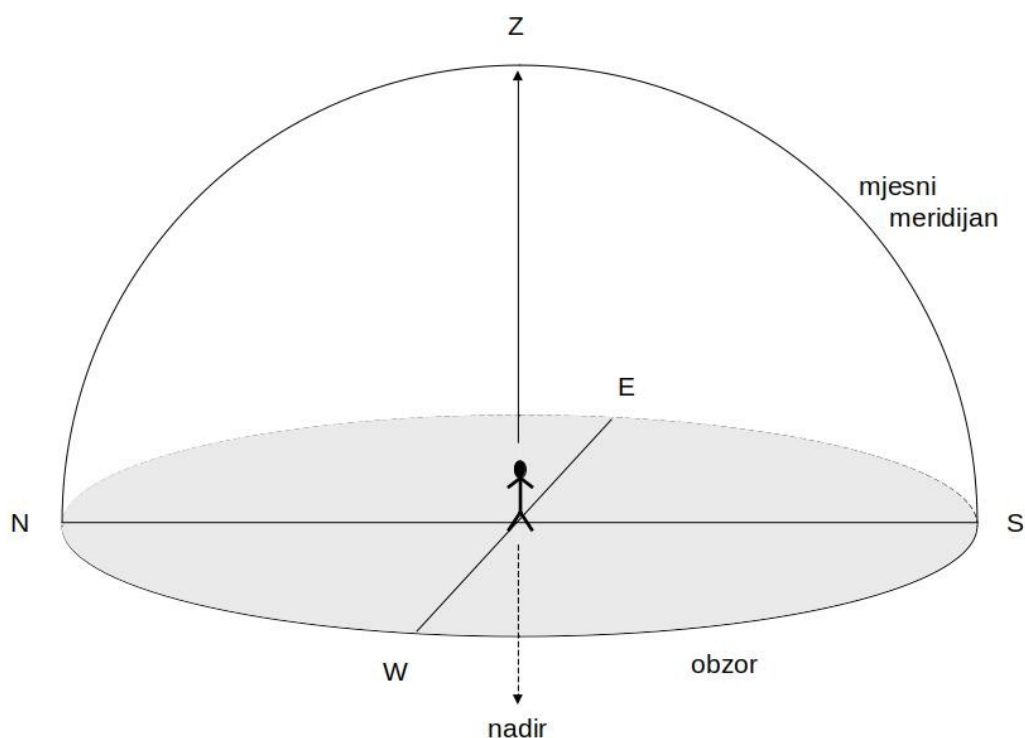
Ovakve skice crtaju se kao da na nebesku kuglu gledamo negdje izvana. Zamislimo si da se nalazimo daleko, daleko u svemiru i da pred sobom zaista vidimo tu zamišljenu nebesku kuglu. U njenom središtu nalazi se sićušni zemaljski stvor, naš opažač nebeskih pojava. On stoji na zemljinoj površini.



**Slika 6:** Vidljiva nebeska polukugla sa vodoravnom ravninom i opažačem u njenom središtu. Skica nebeske kugle obično se crta tako da je ravnina obzora vodoravna. Ta ravnina se često naziva i horizontalnom ravninom po međunarodnom nazivu za obzor: horizont. Uz to se najčešće crta samo gornji dio nebeske kugle, dakle onaj koji se nalazi iznad obzora i kojeg opažač može vidjeti.

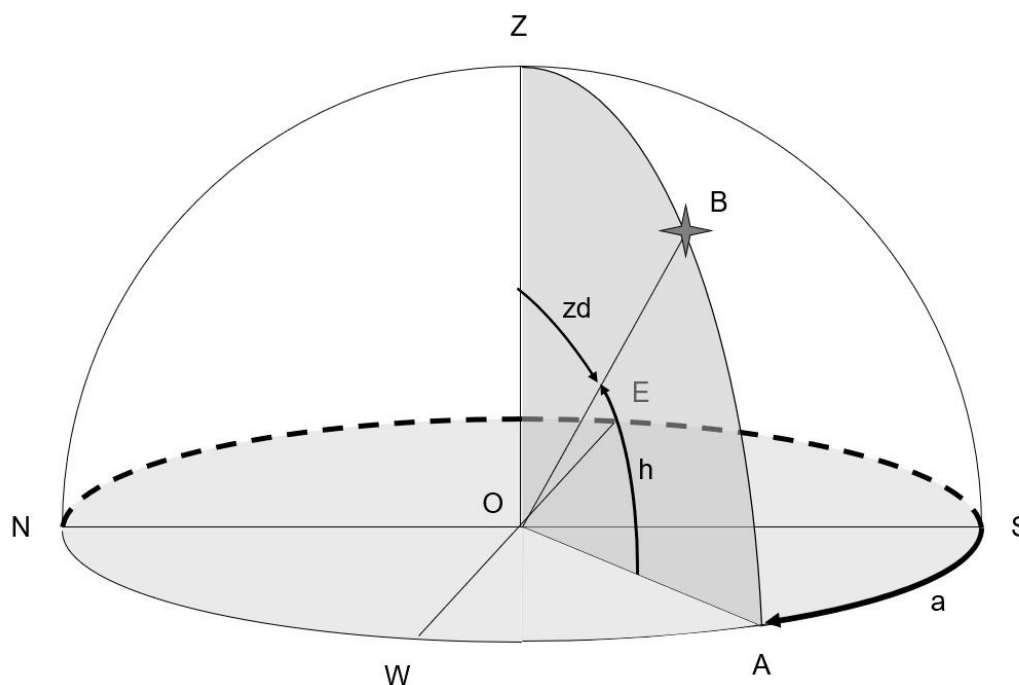
Njegov položaj na zemljinoj kugli određuje njegovu vodoravnu (horizontalnu) ravninu koju na crtežu produžujemo sve do sjecišta sa nebeskom kuglom. To sjecište velika je kružnica koju nazivamo obzor. Velikom kružnicom se na kugli nazivaju sve kružnice čija središta se nalaze u središtu kugle. To su najveće kružnice na kuglinoj plohi. Kružnice čija središta se ne nalaze u središtu kugle mogu biti različitih veličina, ali su uvijek manje od velikih kružnica. Zato se one nazivaju male kružnice. Crtanje naše skice počinjemo od nebeske kugle koju prikazujemo velikom kružnicom (slika 6). Opažač se nalazi u njenom središtu. Vodoravna ravnina mjesta na kojem se opažač nalazi protegnuta je do presjeka sa nebeskom kuglom. Ovaj presjek je veliki krug kojeg nazivamo obzor. Opažač može vidjeti samo onaj dio nebeske kugle koji se nalazi iznad obzora jer mu drugu polovicu nebeske kugle zaklanja zemljina kugla na kojoj stoji. Primijetimo još i to da se nebeska kugla crta kao da je prozirna, pa je tako na skici nacrtan cijeli obzorski krug. Po neki puta se objekti na zadnjoj polovici nebeske kugle crtaju crtkanim linijama da se naglasi njihov pravi položaj i poboljša prostornost skice. To je slučaj i sa skicama u ovoj knjizi.

Zamislimo si sada da smo mi onaj sićušni opažač. Od cijele nebeske kugle vidimo samo gornju polukuglu jer je donja zaklonjena zemljinom kuglom na kojoj stojimo. Na koju god stranu se okrenemo, vidimo da se nebo i zemlja dodiruju u neprekinutoj kružnici koju nazivamo obzor. U stvarnosti je obzor najčešće zaklonjen vegetacijom, zgradama ili planinama. Tek mornar na brodu daleko od bilo koje obale vidi cijeli obzor bez zapreka. Kod naših skica uvijek zanemarujemo zapreke tj. zamišljamo si da vidimo cijeli obzor kao onaj mornar na brodu. Na skicama se često crta smo gornji, vidljivi dio nebeske kugle. I bez obzira na malenost promatrača, nacrtat će on neki puta u središtu skice da se naznači mjesto gdje se on nalazi. Tako smo dobili crtež koji se najčešće koristi u sfernoj astronomiji (slika 6). Našu skicu još ćemo malo nadopuniti. Zamislimo si da stojimo licem okrenuti točno prema jugu. Sjever nam je tada iza leđa, istok lijevo a zapad desno. Promatrač na našoj skici također gleda u smjeru juga za koji se uzima da se nalazi na desnoj strani skice. Sjever je tada na lijevoj strani skice, istok iza a zapad ispred nebeske polukugle. Ako ih označimo na skici (slika 7) kažemo da smo skicu orijentirali. Označimo i točku koja se nalazi točno iznad glave opažača. Ona se naziva zenit i na skici se označava velikim slovom Z. Zna li možda kako se naziva točka na nebeskoj kugli koja se nalazi točno pod nogama opažača? Nju ne možemo vidjeti, ali da smo skicirali cijelu nebesku kuglu označili bi je na njoj točno ispod opažača. Ona se naziva nadir. Veliki krug koji prolazi točkom juga, zenitom, točkom sjevera i nadirom naziva se mjesni meridijan. Pridjev mjesni dobio je zato jer je on određen položajem opažača na zemljinoj kugli. Opažač na nekom drugom mjestu zemljine kugle ima svoj mjesni meridijan koji je uglavnom različit od našeg.



**Slika 7:** Orijentirana nebeska polukugla.

## Horizontski koordinatni sustav



**Slika 8:** Određivanje visine i zenitne daljine zvijezde. Kako smo slovo Z već potrošili za označavanje zenita, zvijezdu moramo označiti nekim drugim slovom, u ovom slučaju slovom B. Visina zvijezde označena je slovom h, zenitna daljina slovima zd i azimut slovom a.

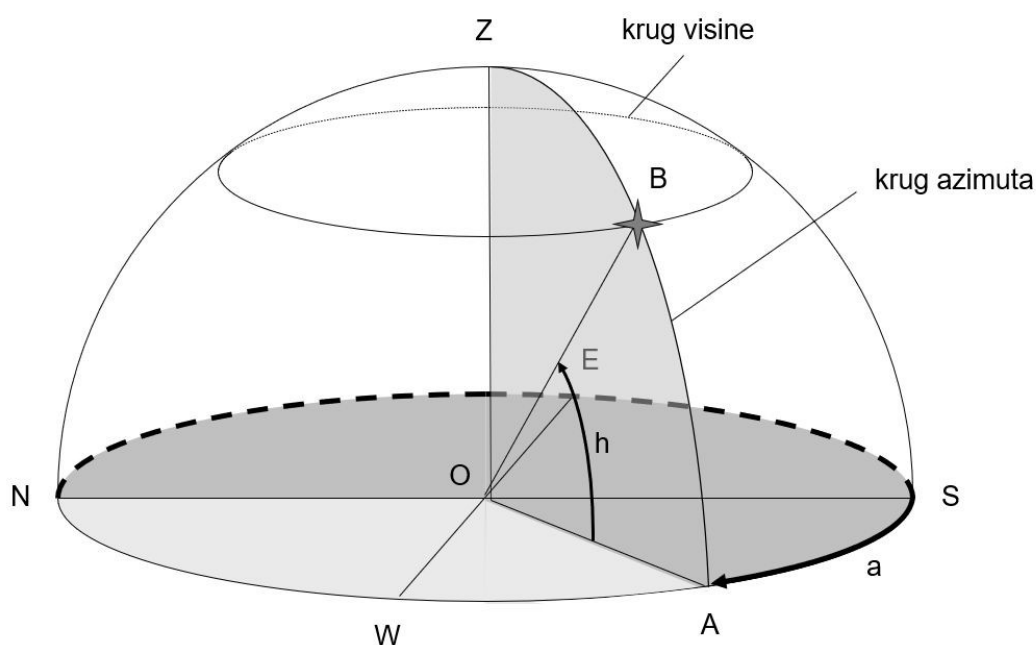
Neka se na nebeskom svodu nalazi jedna sjajna zvijezda. Neka se ona nalazi na jugozapadnom dijelu nebeske polukugle. Gdje biste je nacrtali na slici? Odgovor potražite na slici 8. A kako biste izmjerili njen položaj na nebeskoj kugli? To je lako, reći ćete. Položaj zvijezde određen je smjerom u kojem je opažatelj vidi na nebeskoj kugli. Taj smjer se u astronomiji mjeri raznim kutevima na nebeskoj kugli. Prvi kut koji nam pada na pamet je visina zvijezde iznad obzora. Nju je lako izmjeriti već i najjednostavnijim spravama. Nanišanit ćemo dakle nekim kutomjerom na našu zvijezdu i izmjeriti kut između obzorske ravnine i nje. Na slici 8. prikazan je način mjerenja visine astronomskih objekata. Jedan krak kuta visine čini spojnica opažatelj-zvijezda, OB. Da bismo našli i drugi krak kuta visine, položimo po nebeskoj kugli kružni luk koji polazi iz zenita, prolazi našom zvijezdom i okomito siječe obzor u točki A. Spojnica OA drugi je krak kuta visine zvijezde. Pri tome visinu mjerimo od kraka OA do kraka OB, tj. od obzora prema zenitu, od  $0^\circ$  do  $90^\circ$ . Pri tome je visina obzora  $0^\circ$  a zenita točno  $90^\circ$ .

Položaj zvijezde mogli smo mjeriti i u drugom smjeru, od zenita prema obzoru. To se zaista često i radi a odgovarajući kut koji se mjeri od kraka OZ do kraka OB naziva se zenitna daljina. Ona se mjeri od **zenita** do obzora, tako da je zenitna daljina samog zenita  $0^\circ$  a obzora

90°. Zenitna se daljina dakle mjeri u suprotnom smjeru od visine. Kako je linija OZ okomita na obzorsku ravninu, lako vidimo da je zenitna daljina komplement visine:

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

Sama visina zvijezde nije nam dovoljna da jednoznačno odredimo njen položaj na nebeskoj kugli. Naime, sve zvijezde koje se nalaze na maloj kružnici paralelnoj sa obzorom imaju istu visinu.

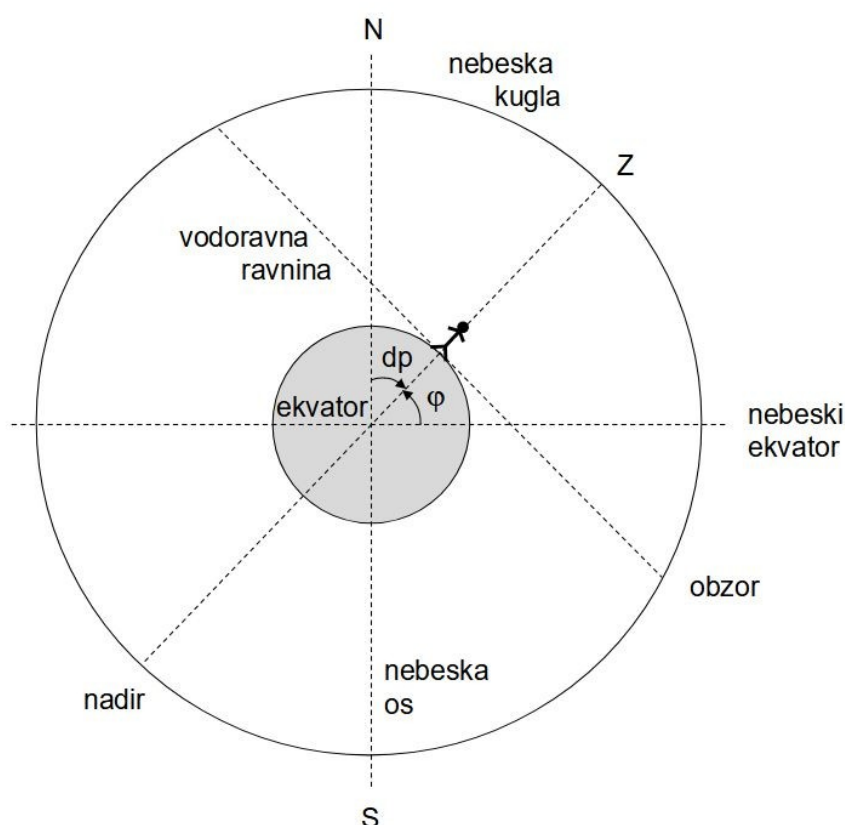


**Slika 9:** Krug visine, krug azimuta i mjerenje azimuta zvijezde.

Ova se kružnica stoga naziva krug visine. Da bi jednoznačno odredili položaj zvijezde potreban nam je još jedan kut. Taj kut moramo mjeriti u smjeru okomitom na krug visine, dakle u horizontalnoj ravnini. On se naziva azimut. Njegovi krakovi su spojnice promatrača i točke sjevera, i spojnice promatrača i točke A na obzoru. Azimut zvijezde također se mjeri u stupnjevima i to od točke sjevera, preko točke istoka, juga i zapada pa opet do točke sjevera, od 0° do 360°. Pri tome točka sjevera ima azimut 0°, istoka 90°, juga 180° i zapada 270°. Kako sve zvijezde na kružnom luku koji počinje u zenitu, prolazi zvijezdom i okomito siječe obzor imaju isti azimut, naziva se ovaj luk po nekim putima krug azimuta. Kut visine i kut azimuta nazivaju se koordinate zvijezde, točnije horizontske (obzorske) koordinate zvijezde. One zajedno čine najjednostavniji nebeski koordinatni sustav koji se naziva horizontski (obzorski) koordinatni sustav. Visina se obično označava malim slovom "h" a azimut malim slovom "a". Za zenitnu daljinu koristi se pokratak "zd".



## Dnevno gibanje zvijezda



Zbog vrtnje Zemlje oko vlastite osi zvijezde se stalno gibaju po nebeskom svodu. Kao i Sunce, izlaze na istoku, penju se po nebeskom svodu, kod prolaska kroz meridijan postižu svoju najveću visinu nad obzorom i onda se lagano spuštaju prema zapadnom obzoru iza kojeg na kraju i zalaze. Mi ne osjećamo da se zajedno sa zemaljskom kuglom okrećemo oko njene osi. Zato nam se čini da mi mirujemo a da se nebeski svod okreće oko nas. Os oko koje

se odvija to prividno okretanje je ista ona os oko koje se okreće zemljina kugla. Isto onako kako presjecišta te osi sa zemljinom kuglom određuju sjeverni i južni pol Zemlje, tako presjecišta te osi sa nebeskom kuglom određuju sjeverni i južni nebeski pol. Položimo li kroz zemljin ekvator ravninu, njeno sjecište sa nebeskom kuglom bit će velika kružnica koju nazivamo nebeski ekvator.

Pokušajmo odrediti gdje ćemo na nebeskoj kugli vidjeti nebeski pol i nebeski ekvator. Zamislimo si da smo i nebesku i zemljinu kuglu presjekli ravninom meridijana. Ona prolazi kroz zemaljsku os i kroz mjesto na kojem se nalazi opažač. Tako dobiveni presjek nacrtan je na slici 10. Opažač se nalazi na zemljopisnoj širini  $\varphi$  koja se, kao što to znamo, mjeri od ekvatora do sjevernog pola od  $0^\circ$  do  $+90^\circ$  i od ekvatora do južnog pola od  $0^\circ$  do  $-90^\circ$ . Naš opažač nalazi se na sjevernoj zemljinoj polutci na zemljopisnoj širini od oko  $+45^\circ$ , što odgovara širini naše domovine. Kut između ekvatora i opažača je zemljopisna širina opažača,  $\varphi$ . Na skici vidimo da je to ujedno i kut između zenita i ravnine nebeskog ekvatora. Dakle, zenitna daljina južne točke nebeskog ekvatora jednaka je zemljopisnoj širini opažača! Otuda odmah nalazimo da je kut između ravnine ekvatora i obzorske ravnine komplement zemljopisne širine.

Opažaču koji se nalazi na ekvatoru, prolazi nebeski ekvator iznad glave, točno kroz zenit. Sjeverni nebeski pol nalazi se točno u sjevernoj, a južni u južnoj točki obzora. Sa ekvatora možemo dakle istovremeno vidjeti oba nebeska pola! Prividna rotacija nebeskog svoda odvija se okomito na obzor pa svi nebeski objekti izlaze okomito na njega i zalaze na suprotnoj strani također okomito na obzor. Cijela nebeska kugla dostupna je u toku jednog dana opažaču, pri čemu se naravno na dijelu koji je vidljiv danju nebeski objekti ne mogu opažati. Uz to, bez obzira na doba godine, svi nebeski objekti provode 12 sati iznad i 12 sati ispod obzora, a cirkumpolarnih i anticirkumpolarnih objekata nema.

Za opažača na jednom od zemljinih polova odgovarajući nebeski pol nalazi se u zenitu a nebeski ekvator poklapa se s obzorom. U toku dana zvijezde kruže po kružnicama paralelnim obzoru pa im se visina ne mijenja. U jednom zvjezdanom danu načine puni krug. Cijela nebeska polutka (sjeverna za opažača na sjevernom polu) je cirkumpolarna, a ona druga anticirkumpolarna. Zvijezde dakle nikad ne izlaze i ne zalaze. U toku polarnog dana Sunce je cirkumpolarno, a u toku polarne noći anticirkumpolarno.

Za opažača na ostalim mjestima zemljine kugle dnevne staze nebeskih objekata nagnute su pod kutem jednakim komplementu zemljopisne širine prema obzoru. Zvijezde čija je udaljenost od nebeskog pola manja od zemljopisne širine (na sjevernoj zemljinoj polutci to se odnosi na zvijezde na sjevernoj nebeskoj polutci i obratno) su cirkumpolarne. To zapravo znači da one nikad ne zalaze već se u svakom trenutku nalaze iznad obzora. Na suprotnoj nebeskoj polutci zvijezde čija je udaljenost od suprotnog nebeskog pola manja od zemljopisne širine su anticirkumpolarne. One nikad ne izlaze i sa tog mjesta zemljine površine nikad se ne mogu vidjeti. Ostale zvijezde uvijek u toku dana izlaze i zalaze. Dan i noć su u toku godine različitog trajanja. Primjerice u Hrvatskoj (zemljopisna širina oko  $45^\circ$ ) zvijezde čija udaljenost od sjevernog nebeskog pola je manja od  $45^\circ$  su cirkumpolarne. Zvijezde čija udaljenost od južnog nebeskog pola je manja od  $45^\circ$  u apsolutnom smislu (dakle između  $-45^\circ$  i  $-90^\circ$ ) su anticirkumpolarne. Ostale zvijezde uvijek izlaze i zalaze. Kako je dnevni put zvijezda po nebeskom svodu nagnut prema obzoru, azimut i visina im se stalno mijenjaju na složen način.

Pogledajmo još malo položaj sjevernog nebeskog pola na skici 10. Nebeska os okomita je na nebeski ekvator. Iz skice vidimo da je taj pravi kut upravo zbroj zenitne daljine ekvatora (a ona je jednaka zemljopisnoj širini!) i zenitne daljine sjevernog nebeskog pola ( $\delta_p$ ). Ovu vezu upotrijebimo da izračunamo zenitnu daljinu nebeskog pola:

$$\varphi + \delta_p = 90^\circ$$

ili

$$\delta_p = 90^\circ - \varphi$$

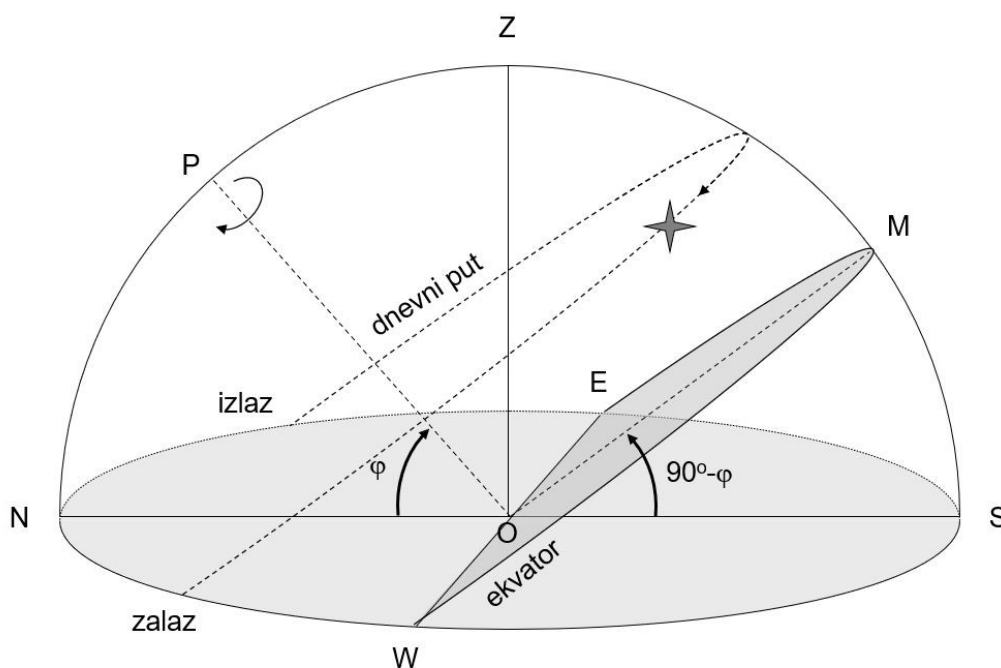
Kad znamo zenitnu daljinu nebeskog pola, lako odredimo i njegovu visinu nad obzorom:

$$\text{visina pola} = \text{zemljopisna širina mjesta opažanja!}$$

Zemljopisnu širinu zato možemo vrlo jednostavno odrediti mjerenjem visine nebeskog pola nad obzorom! Na sjevernoj polutki u tu svrhu odlično služi zvijezda Sjevernjača koja je od pravog pola udaljena za manje od jednog stupnja, pa mjerenje njene visine daje ujedno i visinu pola s greškom manjom od stupnja, što je za mnoge amaterske potrebe i više nego dovoljno.

I na kraju ponovimo: Nebeska kugla toliko je velika da se zemaljska kugla u usporedbi sa njom na našim skicama pretvara u sićušnu točku u središtu skice. Ona zapravo ne postoji već je proizvod ogromnih daljina na kojima se nebeska tijela nalaze pa se opažaču čini da se sva ta tijela nalaze na ogromnoj kugli u čijem središtu se on nalazi. Pri tome donji dio te kugle ne vidimo jer ga zaklanja kugla zemaljska na kojoj se nalazimo. Astronaut u svemirskom brodu daleko u svemiru bez poteškoća može vidjeti cijelu nebesku kuglu odjednom, naravno ako se malo okreće oko sebe!

## Nebeski pol i ekvator



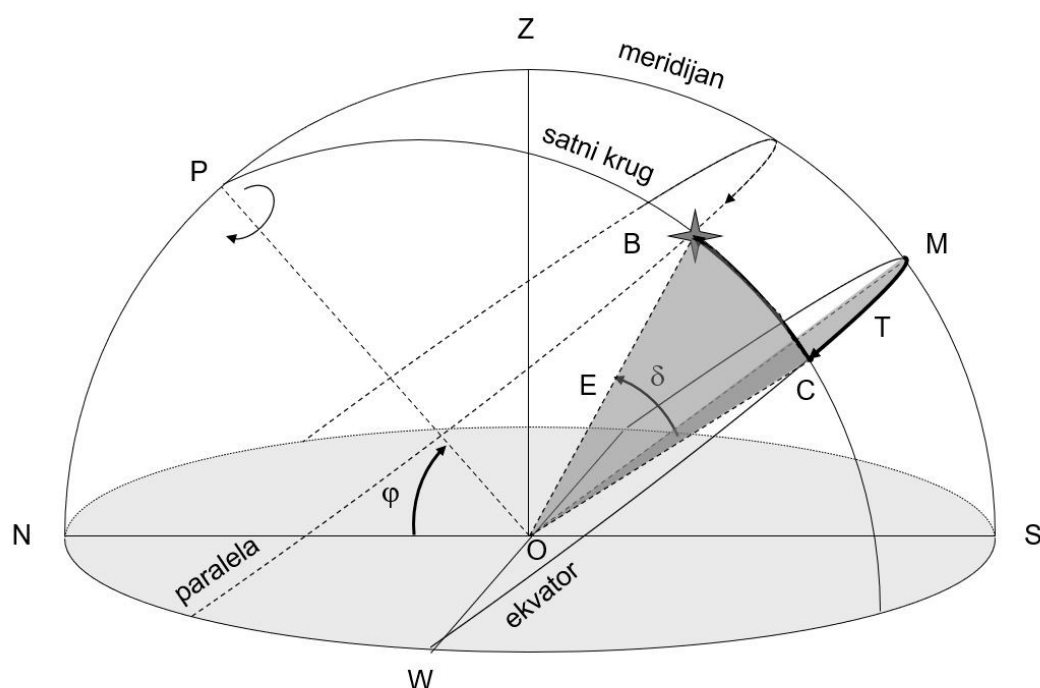
**Slika 11:** Ucrtavanje nebeskog pola i ekvatora na skicu. Dnevni put nekog nebeskog tijela je nebeska paralela, dakle krug na nebeskoj kugli paralelan nebeskom ekvatoru.

Upotrijebimo sad netom stečeno znanje da bismo na našu skicu ucrtali nebeski pol i nebeski ekvator. Krenimo od nebeskog pola (slika 11): on se nalazi iznad točke sjevera na visini koja odgovara zemljopisnoj širini mjesta opažanja. Povucimo dakle iz središta skice, O, liniju pod kutem  $\varphi$  prema liniji ON. Njeno sjecište sa nebeskom kuglom je sjeverni nebeski pol. Označimo ga slovom P.

Sa nebeskim ekvatorom je malo više posla. Kako je nagib ravnine ekvatora prema obzoru komplement zemljopisne širine, iz točke O prvo pod kutem koji je jednak komplementu zemljopisne širine ( $90^\circ - \varphi$ ) prema liniji OS povučemo liniju koja siječe nebesku kuglu u točki M. Točka M sjecište je meridijana i nebeskog ekvatora. Sjetimo se sad da nebeski ekvator prolazi točkama istoka (E) i zapada (W). Rukom skiciramo nebeski ekvator počevši od točke E, kroz točku M do točke W. Da istaknemo ravninu nebeskog ekvatora možemo je lagano šrafirati.

Ucrtajmo sad i našu zvijezdu. Kako se nebeska kugla prividno okreće oko nebeske osi, putuje naša zvijezda zajedno s njom i opisuje malu kružnicu koja se naziva dnevni put zvijezde. Ova kružnica je paralelna sa nebeskim ekvatorom pa i nju lako skiciramo na slici. Zvijezda načini jedan puni krug po ovoj kružnici za jedan zvjezdani dan. Ako je zvijezda dovoljno blizu sjevernom nebeskom polu, cijeli njen dnevni put odvija se iznad obzora. Takva zvijezda nikad ne zalazi i naziva se cirkumpolarna zvijezda. Slično, postoje i zvijezde koje su toliko blizu južnom nebeskom polu da je cijeli njihov dnevni put ispod obzora. One nikad ne izlaze i nazivaju se anticirkumpolarne zvijezde. Njih sa danog mjesta opažanja nikad ne možemo vidjeti. No, kod većine zvijezda (u našim krajevima) dnevni put je dijelom iznad a dijelom ispod obzora. U tom slučaju siječe dnevni put zvijezde obzor u dvije točke: u onoj na istočnoj polovici nebeske polukugle zvijezda izlazi, a u onoj na zapadnoj zalazi. Upamtite da su ove dvije točke uvijek iste, bez obzira na godišnja doba! Kod Sunca ili Mjeseca te ostalih nebeskih objekata koji s vremenom mijenjaju svoj položaj na nebeskom svodu, mijenjaju se naravno i točke izlaska i zalaska. Većina zvijezda izlazi dakle negdje na istočnoj strani obzora, penje se po nebeskom svodu do meridijana u kojem postiže svoju najveću visinu nad obzorom i nakon toga se lagano spušta do točke zalaza na zapadnom dijelu obzora. Meridijan kod toga dijeli vidljivi dio dnevnog puta zvijezde na dvije jednake polovice.

## Ekvatorski koordinatni sustavi



**Slika 12:** Mjesni ekvatorski koordinatni sustav. Deklinacija objekta je označena grčkim slovom  $\delta$ , a satni kut slovom  $T$ .

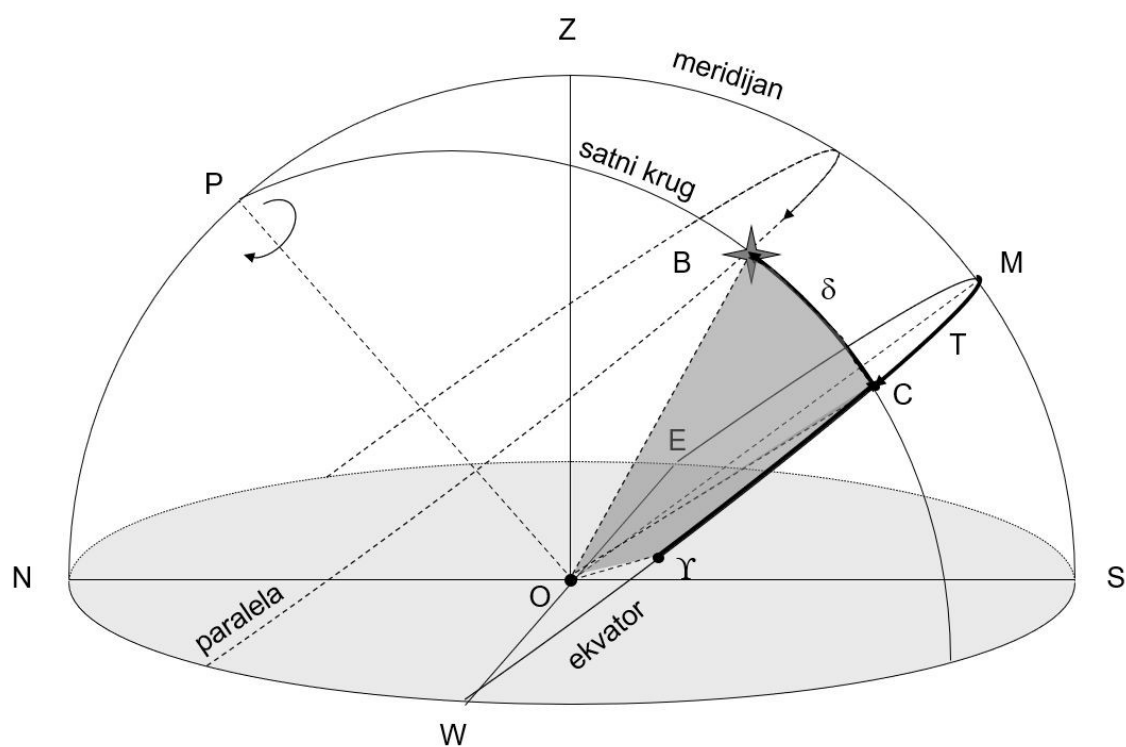
Na isti način na koji koristimo zemljin ekvator i polove da bismo odredili položaj nekog mjesta na zemljinoj kugli, na nebeskoj kugli upotrebljavamo nebeske polove i nebeski ekvator da bi odredili položaj nebeskih objekata. Na Zemlji mjerimo zemljopisnu širinu od ekvatora prema sjevernom ili prema južnom polu od  $0^\circ$  do  $+90^\circ$  odn. od  $0^\circ$  do  $-90^\circ$ . Na nebeskoj kugli na isti način mjerimo širinu zvijezde, koja se u astronomiji naziva deklinacija, od nebeskog ekvatora prema sjevernom ili prema južnom nebeskom polu od  $0^\circ$  do  $+90^\circ$  odn.  $0^\circ$  do  $-90^\circ$ . Tako je deklinacija sjevernog nebeskog pola  $+90^\circ$  a južnog nebeskog pola  $-90^\circ$ . Deklinacija ekvatora je naravno  $0^\circ$ .

Isto kao i na Zemlji, nebeski meridijani polukružnice su što idu od sjevernog nebeskog pola preko nebeskog ekvatora do južnog nebeskog pola. No kako u astronomiji pod pojmom meridijan podrazumijevamo samo jedan veliki krug, i to onaj koji prolazi točkom sjevera, nebeskim polom, zenitom i točkom juga, ostali "meridijani" u astronomiji se nazivaju satni krugovi. Pokušajmo to sad nacrtati na našoj skici (slika 12).

Nebeske paralele su krugovi paralelni nebeskom ekvatoru i podudaraju se sa dnevnim putevima nebeskih objekata koji se na njima nalaze. Vrlo korisna posljedica ove podudarnosti je činjenica da se deklinacije nebeskih objekata ne mijenjaju u toku dnevne rotacije nebeskog svoda. Drugim riječima, one su uvijek iste, za razliku od azimuta i visine koji se zbog dnevne vrtnje nebeskog svoda iz trena u tren mijenjaju. Meridijan već imamo nacrtan i preostaje nam još samo da nacrtamo satni krug zvijezde. On počinje u nebeskom polu, prolazi zvijezdom, siječe nebeski ekvator pod pravim kutem i dolazi do obzora (kut između satnog kruga i obzora općenito nije pravi). Da smo crtali cijelu nebesku kuglu, satni krug završili bi u južnom nebeskom polu. Sjecište satnog kruga zvijezde i nebeskog ekvatora označimo slovom  $C$ . Sad možemo nacrtati i deklinaciju zvijezde. To je kut koji se mjeri od nebeskog ekvatora prema zvijezdi a čine ga krakovi  $OC$  i  $OB$ . Deklinacija se označava grčkim slovom  $\delta$  ili kraticama  $DE$  ili, rjeđe,  $DEC$ .

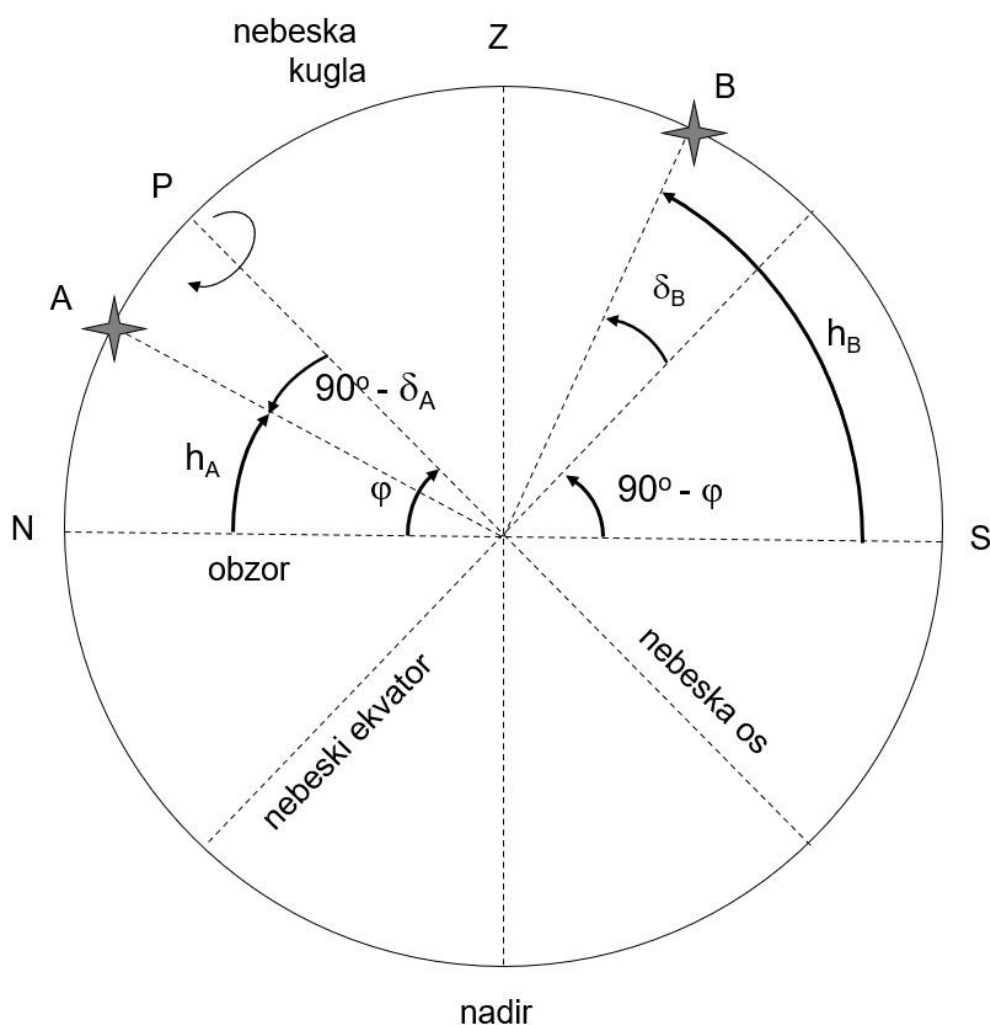
Da bismo mogli mjeriti nebesku dužinu, moramo odrediti početnu točku od koje ćemo je mjeriti. Na Zemlji je ta uloga dodijeljena Greenwich-kom meridijanu. Na nebeskoj kugli umjesto njega koristi se mjesni meridijan. Nebesku dužinu mjerimo od njega, tj. od kraka  $OM$  do satnog kruga zvijezde, tj. do kraka  $OC$ . Pri tome se nebeska dužina naziva satni kut i mjeri se u **satima** od 0 do 24 sata počevši od meridijana (točke juga= $0^h$ ), preko zapada ( $6^h$ ), sjevera ( $12^h$ ) i istoka ( $18^h$ ) pa ponovno do točke juga. Sigurno vam je za oko zapeo čudan način mjerenja satnog kuta: on se izražava u satima a ne u stupnjevima! Razlog je povijesni i leži u načinu na koji se nekad mjerio satni kut: jednostavno se mjerilo vrijeme proteklo od posljednjeg prolaza zvijezde kroz meridijan. To vrijeme, izraženo u jedinicama zvjezdanog vremena, jednako je satnom kutu! Vezu između sati i stupnjeva lako je naći. Jedan zvjezdani dan ima 24 sata i odgovara punom krugu od  $360^\circ$ . Lakim računom možemo onda naći da je jedan sat jednak  $15^\circ$ , 1 minuti odgovara 15 lučnih minuta a 1 sekundi odgovara 15 lučnih sekundi. Kako svaki opažatelj ima svoj meridijan, naziva se ovaj koordinatni sustav mjesni ekvatorski koordinatni sustav.

Zbog dnevne vrtnje nebeskog svoda satni kut zvijezde neprestano se mijenja, ali je ta promjena barem jednolika u vremenu. Ovaj ekvatorski koordinatni sustav pogodan je za određivanje trenutnih položaja objekata na nebeskom svodu, pogotovo ako se oni traže teleskopom na ekvatorijalnoj montaži. Nebeski objekt tada se može pronaći jednostavnim namještanjem njegovih ekvatorskih koordinata na koordinatnim krugovima (kutomerima) ekvatorske montaže teleskopa. No za crtanje karata neba on nije prikladan iz jednostavnog razloga što se satni kutevi neprestano mijenjaju. Zato je uveden i drugi ekvatorski koordinatni sustav kod kojeg su obje koordinate neovisne o vremenu. Kod njega se za početnu točku mjerenja nebeske dužine ne uzima mjesni meridijan već veliki krug koji prolazi proljetnom točkom. Na taj način je njegov položaj vezan za nebeski svod a ne za zemljinu kuglu. Nebeska dužina, koja se u ovom slučaju naziva rektascenzija, ne mijenja se zbog dnevne vrtnje nebeskog svoda. I rektascenzija se mjeri u satima ali u suprotnom smjeru od satnog kuta. Zato na zvjezdanim kartama rektascenzija raste prema lijevoj strani karte. Ova neobičnost dolazi od toga što je za smjer u kojem se mjeri rektascenzija uzet smjer u kojem se u toku godine Sunce giba po ekliptici. Način mjerenja rektascenzije prikazan je zorno na slici 13.



**Slika 13:** Astronomski ekvatorski koordinatni sustav. Proljetna točka označena je simbolom  $\Upsilon$ . Zvezdano vrijeme (ZV) predstavljeno je kutem OM-OY a rektascenzija (RA) kutem OY-OC. Primijetite da se rektascenzija mjeru u smjeru suprotnom od satnog kuta!

Rektascenzija se označava grčkim slovom  $\alpha$  ili pokratom RA. Dodajmo da se satni kut proljetne točke naziva zvezdano vrijeme (ZV). Zvezdano vrijeme daje dakle trenutni položaj proljetne točke prema meridijanu. Kad je zvezdano vrijeme 0 sati, proljetna točka je u meridijanu, kad je 6 sati, proljetna točka upravo zalazi i to u točki zapada, kad je 12 sati nalazi se najniže ispod obzora, točno ispod točke sjevera, a kad je 18 sati proljetna točka upravo izlazi u točki istoka. Proljetna točka ponekad se označava znakom sličnim grčkom slovu  $\gamma$ .



**Slika 14:** Odnos između visine zvijezde u prolazu kroz meridijan (tranzitu) i njene deklinacije.

Vratimo se još malo slici 10. Ona predstavlja presjek nebeske kugle ravninom meridijana, dakle ravninom koja prolazi opažačem, točkama sjevera i juga te zenitom. Dodajmo na tu sliku zvijezdu A



koja je cirkumpolarna (slika 14). Zvijezda A upravo se nalazi na svojoj najmanjoj visini iznad obzora. U tom se trenutku ona nalazi točno iznad točke sjevera, između obzora i sjevernog nebeskog pola.

Kaže se da je u tom trenutku zvijezda A u **donjoj** kulminaciji.

Izračunajmo na kojoj se visini nalazi zvijezda A. Znamo da je visina pola P iznad obzora jednaka zemljopisnoj širini mjesta opažanja,  $\varphi$ . S druge strane, udaljenost zvijezde od nebeskog pola je komplement njene deklinacije,  $\delta_A$ . Pogledajmo sad sliku 14. U trenutku donje kulminacije je zbroj visine zvijezde i njene udaljenosti od pola jednak visini pola iznad obzora. Vrijedi dakle da je

$$h_A + 90^\circ - \delta_A = \varphi$$

a otuda je lako naći da je

$$h_A = \varphi + \delta_A - 90^\circ$$

Sad možemo odrediti i uvjet potreban da zvijezda A bude cirkumpolarna. Njezina visina u donjoj kulminaciji mora u tom slučaju biti veća od 0:

$$h_A > 0$$

ili

$$\delta_A > 90^\circ - \varphi$$

Za vježbu odredite visinu zvijezde A kad se ona 12 sati kasnije nađe točno između nebeskog pola i zenita (gornja kulminacija)!

Ako zvijezda nije cirkumpolarna, dosiže ona svoju najveću visinu iznad obzora u trenutku prolaska kroz meridijan. Kako se ona u trenutku donje kulminacije nalazi ispod obzora, naziva se kod nje trenutak prolaska kroz meridijan jednostavno kulminacija. To je slučaj zvijezde B sa slike 14. Nebeski ekvator stoji pod kutem  $90^\circ - \varphi$  prema južnom obzoru, a zvijezda se nalazi za kut deklinacije iznad njega. Njena je visina dakle

$$h_B = 90^\circ - \varphi + \delta_B$$

Ako se zvijezda nalazi ispod nebeskog ekvatora, njena deklinacija je negativna i ulazi u gornju jednadžbu sa negativnim predznakom. Uz pomoć gornje jednadžbe lako nađemo i kad je zvijezda anticirkumpolarna. Tada je i u kulminaciji njena visina manja od 0, pa se zvijezda uvijek nalazi ispod obzora. Tako iz uvjeta da u kulminaciji treba biti

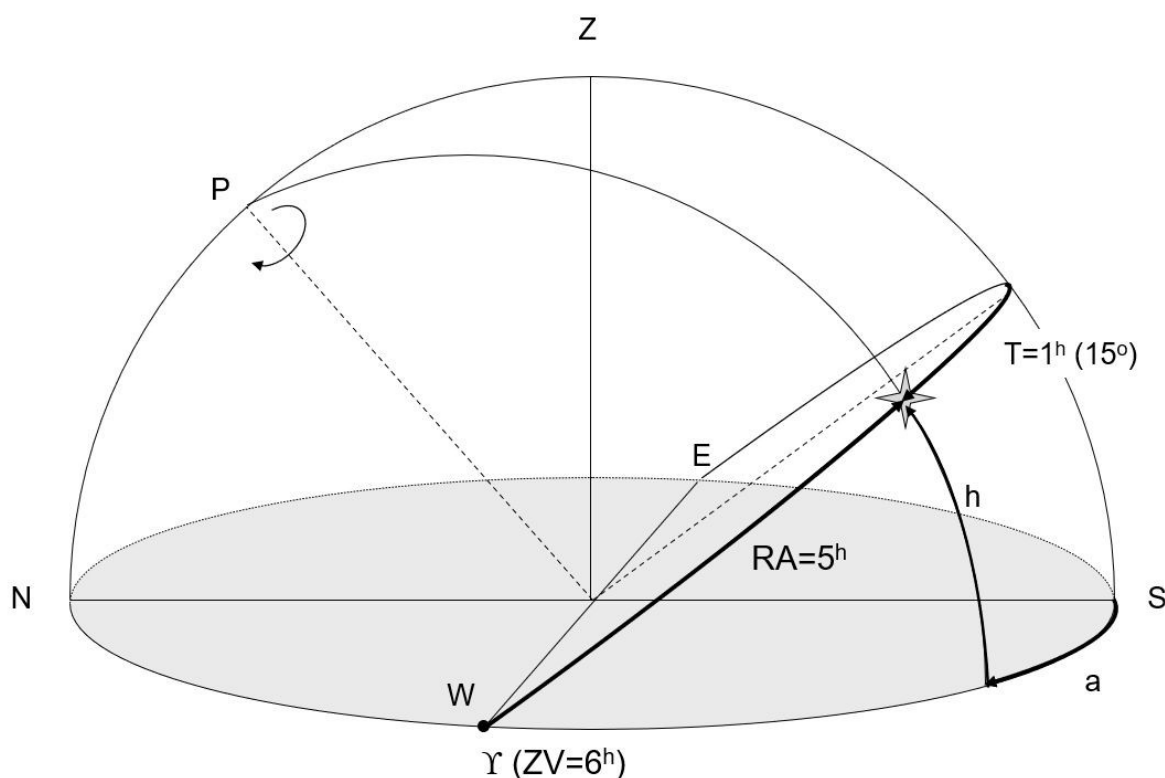
$$h_B < 0$$

nalazimo da je

$$\delta_B < \varphi - 90^\circ$$

### Prelaz iz horizontskog u ekvatorski sustav

**Neka je zvjezdano vrijeme 6 sati. Pomoću crteža treba odrediti približne horizontske koordinate zvijezde čija je deklinacija  $0^\circ$  i rektascenzija  $5^h$ . Zemljopisna širina opažača je  $+45^\circ$ .**



**Slika 15:** Grafičko prelaženje iz ekvatorskog u horizontski koordinatni sustav. ZV je zvjezdano vrijeme (satni kut proljetne točke), RA rektascenzija zvijezde a T satni kut zvijezde. a i h označavaju azimut i visinu zvijezde.

Postupak rješavanja počinjemo crtanjem orijentirane skice nebeske polukugle (slika 15.). Na nju prvo ucrtamo nebeski ekvator. Onda se podsjetimo da je zvjezdano vrijeme jednako satnom kutu proljetne točke. Kako je zadano  $ZV=6^h$ , proljetna točka upravo zalazi u točki zapada (W). Rektascenzija se mjeri od proljetne točke u smjeru istoka. To znači da je satni kut zvijezde povezan sa njenom rektascenzijom i zvjezdanim vremenom slijedećom relacijom:

$$T=ZV-RA$$

Otuda izračunamo satni kut zvijezde. U slučaju da ovaj račun daje negativan rezultat, dodamo mu 24 sata. Kako se zvijezda nalazi na nebeskom ekvatoru (deklinacija joj je 0!) možemo je ucrtati na skicu. Njen satni kut je  $1^h$  pa se nalazi za toliko zapadno od meridijana, na 1/6 svog puta do točke zalaza. Ucrtamo je odoka na odgovarajuće mjesto na nebeskom ekvatoru. Iz zenita skiciramo krug azimuta koji prolazi kroz nju. Njegovo sjecište sa obzorom određuje azimut zvijezde. Ocijenimo ga sa skice. trebali bismo dobiti rezultat nešto manji od  $195^\circ$ . Naime, azimut točke juga je  $180^\circ$ , a od nje do presjecišta kruga azimuta sa horizontom je nešto manje od  $15^\circ$ . To znamo po tome što je luk od meridijana do kruga azimuta točno  $15^\circ$  (1 sat) a kako se nebeski ekvator po kojem taj luk mjerimo polagano spušta prema obzoru, kut na obzoru će biti nešto manji od toga. Slično ocijenimo i visinu koja bi trebala biti malo manja od  $45^\circ$ . To dolazi od toga što je visina ekvatora u točki juga upravo  $45^\circ$ , a zvijezda je već prošla tom točkom i započela se lagano spuštati prema zapadu. Kako joj je satni kut upravo  $1^h$  prevalila je po nebeskom ekvatoru put od  $15^\circ$  prema zapadu. Projekcija tog puta na obzor je nešto manja od tih  $15^\circ$ , jer je nebeski ekvator nagnut prema ravnini obzora, recimo odoka otprilike oko  $12^\circ$ . Tome dodamo još  $180^\circ$  jer azimut mjerimo od točke sjevera, pa je traženi azimut oko  $192^\circ$ .

## VRIJEME U ASTRONOMIJI

Potrebe svakodnevnog života najbolje su zadovoljene sistemom mjerenja vremena prema zamišljenom Suncu koje se jednolikom brzinom giba po ekliptici. Taj se način mjerenja u astronomiji naziva srednje sunčevo vrijeme. Za astronomske potrebe ono nije dovoljno, već se koriste sustavi mjerenja vremena koji se razlikuju od našeg svakodnevnog načina mjerenja vremena. Svaki od tih sustava određen je nekom astronomskom potrebom, i nema nam druge nego da upoznamo barem one koji nam mogu zatrebati.

### Mjesno vrijeme

Mjesno vrijeme je srednje sunčevo vrijeme za određenu točku Zemljine površine. Ono ovisi o zemljopisnoj dužini, pa svaka točka zemljine površine ima svoje vlastito mjesno vrijeme. Pri tome sva mjesta na istom zemljinom meridijanu imaju isto mjesno vrijeme. Njega u svakodnevnom životu već odavno ne koristimo jer bi njegova upotreba stvarala velike probleme. Zamislite si da svaki grad i svako selo ima svoje vlastito vrijeme, koje se razlikuje od vremena u susjednom mjestu! U srednjem vijeku tako je zaista i bilo, no razvitak trgovine i putovanja brzo je doveo do toga da se on napusti i da se uvede ujednačenije zonsko vrijeme koje koristimo danas. U sustavu zonskog vremena, zemljina je kugla dogovorom podijeljena u 24 vremenske zone. Sva mjesta unutar jedne zone koriste isto zonsko vrijeme. Dogovorom je određeno da je zonsko vrijeme jednako mjesnom vremenu meridijana koji prolazi sredinom dotične zone. Hrvatska se nalazi u srednjeeuropskoj vremenskoj zoni (središnji meridijan  $15^\circ$  istočne dužine) pa se vrijeme koje koristimo u svakodnevnom životu naziva i srednjeeuropsko vrijeme (SEV). U astronomiji se umjesto zonskog vremena koristi svjetsko ili univerzalno vrijeme (kratica UT) koje je zapravo mjesno vrijeme nultog (Greenwich-kog) meridijana. Razlika između srednjeeuropskog i svjetskog vremena je 1 sat, tj.  $UT = SEV - 1h$ . Tu naravno treba uzeti u obzir i dodatne komplikacije nastale uvođenjem ljetnog vremena koje nema nikakvo uporište u prirodnim pojavama, pa se naziva i dekretsko vrijeme. Kad je ono na snazi, srednjeeuropskom se vremenu dodaje još jedan sat.

U astronomiji je često puta potrebno znati mjesno vrijeme jer točan trenutak izlaska ili zalaska nebeskih objekata, njihov položaj na nebeskom svodu u danom trenutku i sl. ovise o mjesnom vremenu. Zbog toga moramo znati kako se iz zonskog vremena može izračunati mjesno vrijeme i obratno. Za tu svrhu prvo moramo znati u kojoj se vremenskoj zoni naše mjesto nalazi. Pored toga, potrebna nam je i zemljopisna dužina tog mjesta, koju možemo odrediti sa zemljopisne karte ili na neki drugi način. Nakon toga računamo razliku mjesnog i zonskog vremena tako da razliku zemljopisne dužine mjesta i dužine središnjeg meridijana u stupnjevima pomnožimo sa 4 (pazeći pri tome na predznak!). Kao rezultat dobit ćemo razliku zonskog i mjesnog vremena u minutama. Već izračunata razlika za veća mjesta u Hrvatskoj nalazi se u tablicama na kraju ove knjige. Ako vaše mjesto nije u tablici, uzmite jednostavno vrijednost za ono koje vam je najbliže. Učinjena pogreška bit će najviše minutu-dvije što je za većinu naših potreba zanemarivo.

Mjesno vrijeme sad nalazimo tako da zonskom vremenu pribrojimo ovu razliku, i opet pazeći pri tome na predznak te razlike. Za kontrolu, mjesno vrijeme je veće od zonskog ako je mjesto istočnije od središnjeg meridijana zone, a manje ako je zapadnije! Ukoliko je na snazi ljetno vrijeme, moramo prvo iz ljetnog vremena izračunati zonsko vrijeme tako da od ljetnog vremena odbijemo jedan sat.

**Tablica 1:** razlika mjesnog (MV) i srednjeeuropskog vremena (SEV) za veća mjesta u Hrvatskoj.

mjesto	MV-SEV	mjesto	MV-SEV	mjesto	MV-SEV
Bakar	-1 <sup>m</sup> 54 <sup>s</sup>	Korčula	+8 32	Rab	-1 4
Biograd na moru	+1 47	Krapina	+3 30	Rijeka	-2 13
Bjelovar	+7 27	Križevci	+6 12	Senj	+0 24
Buje	-5 22	Krk	-1 39	Sinj	+6 35
Čakovec	+5 46	Lastovo	+7 35	Sisak	+5 30
Daruvar	+8 55	Lipik	+8 40	Slavonski Brod	+12 6
Delnice	-0 46	Makarska	+8 5	Solin	+5 59
Drniš	+4 38	Mali Lošinj	-2 6	Split	+5 47
Dubrovnik	+12 27	Metković	+10 37	Šibenik	+3 34
Đakovo	+13 40	Ogulin	+0 55	Vinkovci	+15 14
Glina	+4 23	Opatija	-2 45	Virovitica	+9 33
Gospić	+1 31	Pakrac	+8 48	Vis	+4 47
Gruž	+12 20	Pazin	-4 18	Vukovar	+16 3
Hvar	+5 46	Petrinja	+5 7	Varaždin	+5 22
Karlovac	+2 6	Poreč	-5 35	Tivat	+13 47
Knin	+4 47	Požega	+10 42	Topusko	+3 55
Koprivnica	+7 20	Pula	-4 37	Zadar	+0 56
				Zagreb	+3 56

**PRIMJER:** naći mjesno vrijeme za Zagreb ako je srednjeeuropsko vrijeme (SEV) 6 sati i 15 minuta.

zemljopisna dužina Zagreba: 15° 59' E

pretvorena u stupnjeve: 15,983° E

zemljopisna dužina središnjeg meridijana vremenske zone u kojoj se Zagreb nalazi: 15° E

nađemo njihovu razliku:  $0,983^\circ$

dobiveni rezultat pomnožimo sa 4 da bismo dobili razliku mjesnog i zonskog (srednjeg) vremena:  $3,93 \text{ min.}$

Ovu razliku prevedemo u minute i sekunde:  $3^m 56^s$

i dodamo je zonskom vremenu. Rezultat je traženo mjesno vrijeme:  $6^h 18^m 56^s$

**PRIMJER:** naći mjesno vrijeme za Zagreb ako je ljetno vrijeme 6 sati i 15 minuta.

Prvo iz ljetnog vremena nađemo zonsko vrijeme tako da od ljetnog vremena odbijemo 1 sat:  
zonsko vrijeme (SEV) =  $5^h 15^m$

dalje radimo kao i prije:

zemljopisna dužina Zagreba:  $15^\circ 59' \text{ E}$

pretvorena u stupnjeve:  $15,983^\circ \text{ E}$

zemljopisna dužina središnjeg meridijana vremenske zone u kojoj se Zagreb nalazi:  $15^\circ \text{ E}$

nađemo njihovu razliku:  $0,983^\circ$

dobiveni rezultat pomnožimo sa 4 da bismo dobili razliku mjesnog i zonskog (srednjeg) vremena:  $3,93^m$

Ovu razliku prevedemo u minute i sekunde:  $3^m 56^s$

i dodamo je zonskom vremenu. Rezultat je traženo mjesno vrijeme:  $5^h 18^m 56^s$

**PRIMJER:** naći mjesno vrijeme za Poreč ako je srednjeeuropsko vrijeme (SEV) 6 sati i 15 minuta.

iz tablice nađemo razliku mjesnog i zonskog vremena:  $-5^m 35^s$

Ovu razliku dodamo zonskom vremenu, pazeći na predznak Rezultat je traženo mjesno vrijeme:  $6^h 9^m 25^s$

Kontrola: Poreč je zapadnije od središnjeg meridijana, pa je mjesno vrijeme manje od zonskog!

**PRIMJER:** naći ljetno vrijeme za Zagreb ako je mjesno vrijeme 5 sati, 18 minuta i 56 sekundi.

Sad prvo nađemo razliku mjesnog i srednjeg vremena za Zagreb kao i prije:  $3^m 56^s$

Ovu razliku odbijemo od  $5^h 18^m 56^s$  mjesnog vremena da bismo dobili srednje vrijeme vremenske zone:  $5^h 15^m 0^s$

Pošto se u tom trenutku koristi ljetno vrijeme, dobivenom srednjem vremenu dodajemo još jedan sat da bi rezultat bio u ljetnom vremenu:  $6^h 15^m 0^s$

## Mjesno zvjezdano vrijeme

Već smo spomenuli da se zvjezdano vrijeme mjeri prema zvjezdama za razliku od "normalnog" sunčevog vremena koje se ravna prema Suncu. Mjesno zvjezdano vrijeme mjera je položaja zemaljske kugle prema nepomičnom zvjezdanom svodu. Zbog zakrivljenosti Zemlje mjesno zvjezdano vrijeme jednako kao i mjesno vrijeme ovisi o zemljopisnoj dužini. Na isti način na koji sunčevo vrijeme određujemo prema položaju Sunca na nebeskom svodu, zvjezdano vrijeme određujemo prema položaju proljetne točke prema mjesnom meridijanu. Zvjezdani dan počinje kad se proljetna točka nađe u kulminaciji, dakle u trenutku u kojem ona prolazi kroz mjesni meridijan. Dnevna vrtnja nebeskog svoda nosit će je nakon kulminacije prema zapadu. U trenutku kad se nađe 1 sat zapadnije od meridijana, bit će zvjezdano vrijeme jedan sat. S nastavkom vrtnje proljetna točka odlazi sve dalje prema zapadu. U trenutku njenog zalaza zvjezdano vrijeme je 6 sati. Zvjezdano podne nastupa kada se proljetna točka nađe u svojoj donjoj kulminaciji, duboko ispod točke sjevera. U točno 18 zvjezdanih sati izlazi proljetna točka u točki istoka. Vrtnja nebeskog svoda sad je nosi sve više, prema meridijanu. U trenutku kad se opet nađe u njemu, nastupa zvjezdana ponoć i započinje novi zvjezdani dan.

Kao i sunčev dan, zvjezdani dan dijeli se na 24 zvjezdana sata od po 60 zvjezdanih minuta a svaka od njih ima po 60 zvjezdanih sekundi. Sve su ove "zvjezdane" vremenske mjere malo kraće od onih sunčevih koje koristimo u svakodnevnom životu. Kod prelaska sa zvjezdanog vremena na sunčevo moramo malo računati. Najjednostavnije je to učiniti tako da vremenski interval kojeg želimo pretvoriti u drugu mjeru prvo pretvorimo u sate i njihove decimalne dijelove. To učinimo tako da minute podijelimo sa 60 a sekunde sa 3600, pa dobivene decimalne brojeve pribrojimo satima. Tu je potrebna točnost od barem 5 decimalnih mjesta. Kad smo to obavili, poslužimo se slijedećim formulama:

interval sunčevog vremena =  $0,997\,260 \times$  interval zvjezdanog vremena

interval zvjezdanog vremena =  $1,002\,738 \times$  interval sunčevog vremena

Na kraju decimalne dijelove sata pretvorimo natrag u minute i sekunde, ako je to potrebno.

**PRIMJER:** pretvori 3 sata 15 minuta i 25 sekundi sunčevog vremena u zvjezdano vrijeme!

Prvo interval vremena pretvorimo u decimalne dijelove sata:

$$3^h 15^m 25^s = 3 + 15/60 + 25/3600 = 3,256944^h$$

Sad ovaj interval pretvorimo u interval zvjezdanog vremena:

$$3,256944 \times 1,002738 = 3,265862^h \text{ (zvjezdani)}$$

pa decimalni dio sata pretvorimo prvo u minute:

$$0,265862 \times 60 = 15,95712^m \text{ (zvjezdani)}$$

i onda još decimalni dio minuta pretvorimo u sekunde:

$$0,95712 \times 60 = 57^s \text{ (zvjezdani)}$$

I na kraju samo sve sakupimo zajedno. Traženi rezultat je:

$$3^h 15^m 25^s \text{ sunčevog vremena} = 3^h 15^m 57^s \text{ zvjezdanog vremena!}$$

No, čemu služi ovo čudno, "malo kraće" vrijeme? Ono je vezano za dnevnu vrtnju nebeskog svoda pa tako u isto zvjezdano vrijeme nebeski svod uvijek jednako izgleda. Dakle, ako znamo zvjezdano vrijeme, znamo i trenutni izgled nebeskog svoda. U kulminaciji su zvijezde čija je rektascenzija jednaka zvjezdanom vremenu. Naime, satni kut proljetne točke po definiciji je jednak zvjezdanom vremenu. A rektascenzija se mjeri od proljetne točke prema istoku, dakle u smjeru suprotnom od satnog kuta. Krenemo li od proljetne točke i odredimo li rektascenziju mjesnog meridijana, dobit ćemo da je jednaka satnom kutu proljetne točke, tj. zvjezdanom vremenu.

Daklem, za određeno zvjezdano vrijeme kulminiraju upravo one zvijezde čija rektascenzija je jednaka tom zvjezdanom vremenu. Zvijezde sa većom rektascenzijom su istočnije a one sa manjom zapadnije od meridijana. Imamo li pri ruci kartu ili atlas neba možemo odmah vidjeti kako će u tom trenutku izgledati zvjezdano nebo. Jednostavno pogledamo gdje se na karti trenutno nalazi meridijan. On je na mjestu nebeskog meridijana čija rektascenzija odgovara trenutnom zvjezdanom vremenu. Dakle, ako znamo zvjezdano vrijeme, možemo svaku kartu neba upotrijebiti za određivanje trenutnog izgleda noćnog neba, ili barem njegovog južnog dijela. Ovaj princip najzgodnije je iskorišten kod vrteće karte koja može pokazati izgled zvjezdanog neba za bilo koji trenutak u godini. Nemamo li vrteću kartu, poslužit će i obične karte neba, no uz njih moramo znati zvjezdano vrijeme. U tablici 2. dano je zvjezdano vrijeme



u 0 sati sunčevog vremena, dakle točno u trenutku kad započinje novi dan. Primijetimo da je ovaj trenutak ujedno ponoć prethodnog dana. Ako nam točnost bolja od minute-dvije nije potrebna, zvjezdano vrijeme za neki drugi trenutak nalazimo tako da zvjezdanom vremenu iz tablice jednostavno pribrojimo sunčevo vrijeme proteklo od ponoći. Točnost ovog jednostavnog računa je nekoliko minuta, što je više nego dovoljno za određivanje izgleda noćnog neba. Ako nam je pak potrebna veća točnost, interval sunčevog vremena prije toga moramo pretvoriti u interval zvjezdanog vremena.

Kako je zvjezdani dan malo kraći od sunčevog, svaki idući zvjezdani dan započinje oko 4 minute ranije od prethodnog. To znači da se u određeno sunčevo vrijeme svaki idući sunčev dan zvjezdano vrijeme poveća za 4 minute (točnije 3 minute i 56 sekundi) što je iskorišteno u tablici tako da je u njoj dano zvjezdano vrijeme samo za neparne dane u mjesecu. Zvjezdano vrijeme za parne dane sa dovoljnom točnošću dobije se tako da zvjezdanom vremenu za prethodni dan dodaju 4 minute.

**PRIMJER:** Odredite zvjezdano vrijeme za trenutak 22. Kolovoza u 1 sat i 15 minuta (noću!).

Kako u tablici nemamo podatak za 22. Kolovoz, očitamo zvjezdano vrijeme za 21. Kolovoz u 0 sati i dodamo mu 4 minute, koliko otprilike zvjezdano vrijeme svaki dan ide naprijed prema sunčevom. Tako za zvjezdano vrijeme 22. kolovoza u 0 sati nalazimo  $22^{\text{h}} 3^{\text{m}} + 4^{\text{m}} = 22^{\text{h}} 7^{\text{m}}$ . Tome dodamo  $1^{\text{h}} 15^{\text{m}}$  i dobijemo traženo zvjezdano vrijeme:  $23^{\text{h}} 22^{\text{m}}$ .

**Napomena:** Kao što je to već spomenuto, točan račun tražio bi pretvaranje sunčevog vremena proteklog od ponoći u odgovarajući period zvjezdanog vremena (i naravno umjesto dodavanja 4 minute za idući dan, dodavanje od  $3^{\text{m}} 56^{\text{s}}$ ) s krajnjim rezultatom većim za 9 sekundi, koje se gube u zaokruživanju na pune minute. Na kraju ni sama tablica 2. nije dovoljno točna za toliko točan račun. Za najveći dio amaterskih potreba točnost od minute je i više ne dovoljna što je i glavni razlog zašto su podaci u tablici 2. zaokruženi na minute. Uz to kod točnijeg računa počinju se javljati i sitne razlike između pojedinih godina pa se račun poprilično zaklomplicira, ali za takve stvari postoje računalni programi, ili danas moderne aplikacije na pametnim telefonima.

**Tablica 2:** zvjezdano vrijeme za 0 sati mjesnog vremena (slijedeća stranica).

siječanj		veljača		ožujak		travanj		svibanj		lipanj	
1	6 <sup>h</sup> 49 <sup>m</sup>	1	8 <sup>h</sup> 51 <sup>m</sup>	1	10 <sup>h</sup> 41 <sup>m</sup>	1	12 <sup>h</sup> 43 <sup>m</sup>	1	14 <sup>h</sup> 42 <sup>m</sup>	1	16 <sup>h</sup> 44 <sup>m</sup>
3	6 56	3	8 59	3	10 49	3	12 51	3	14 50	3	16 52
5	7 4	5	9 7	5	10 57	5	12 59	5	14 57	5	17 0
7	7 12	7	9 14	7	11 5	7	13 7	7	15 5	7	17 8
9	7 20	9	9 22	9	11 13	9	13 15	9	15 13	9	17 15
11	7 28	11	9 30	11	11 21	11	13 23	11	15 21	11	17 23
13	7 36	13	9 38	13	11 28	13	13 31	13	15 29	13	17 31
15	7 44	15	9 46	15	11 36	15	13 39	15	15 37	15	17 39
17	7 52	17	9 54	17	11 44	17	13 46	17	15 45	17	17 47
19	7 59	19	10 2	19	11 52	19	13 54	19	15 53	19	17 55
21	8 7	21	10 10	21	12 00	21	14 2	21	16 0	21	18 3
23	8 15	23	10 17	23	12 8	23	14 10	23	16 8	23	18 11
25	8 23	25	10 25	25	12 16	25	14 18	25	16 16	25	18 18
27	8 31	27	10 33	27	12 24	27	14 26	27	16 24	27	18 26
29	8 39	29		29	12 32	29	14 34	29	16 32	29	18 34
31	8 47	31		31	12 39	31		31	16 40	31	

srpanj		kolovoz		rujan		listopad		studenj		prosinac	
1	18 <sup>h</sup> 42 <sup>m</sup>	1	20 <sup>h</sup> 44 <sup>m</sup>	1	22 <sup>h</sup> 47 <sup>m</sup>	1	0 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>	1	2 <sup>h</sup> 47 <sup>m</sup>	1	4 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>
3	18 50	3	20 52	3	22 54	3	0 53	3	2 55	3	4 53
5	18 58	5	21 0	5	23 2	5	1 1	5	3 3	5	5 1
7	19 6	7	21 8	7	23 10	7	1 8	7	3 11	7	5 9
9	19 14	9	21 16	9	23 18	9	1 16	9	3 19	9	5 17
11	19 22	11	21 24	11	23 26	11	1 24	11	3 26	11	5 25
13	19 29	13	21 32	13	23 34	13	1 32	13	3 34	13	5 33
15	19 37	15	21 40	15	23 42	15	1 40	15	3 42	15	5 41
17	19 45	17	21 47	17	23 50	17	1 48	17	3 50	17	5 48
19	19 53	19	21 55	19	23 58	19	1 56	19	3 58	19	5 56
21	20 1	21	22 3	21	0 5	21	2 4	21	4 6	21	6 4
23	20 9	23	22 11	23	0 13	23	2 12	23	4 14	23	6 12
25	20 17	25	22 19	25	0 21	25	2 19	25	4 22	25	6 20
27	20 25	27	22 27	27	0 29	27	2 27	27	4 30	27	6 28
29	20 33	29	22 35	29	0 37	29	2 35	29	4 37	29	6 36
31	20 40	31	22 43	31		31	2 43	31		31	6 44

## UVOD U PRAKTIČNU ASTRONOMIJU

### Sunce i njegova sjena

Jedan od najjednostavnijih načina određivanja pravca sjever-jug je određivanje smjera u kojem pada sjena viska u pravo Sunčevo podne. Kako u svakodnevnom životu koristimo vrijeme koje se ravna prema srednjem Suncu, pravo Sunčevo podne gotovo nikad ne nastupa u podne po našim satovima. Razlike mogu biti i do tri četvrtine sata a nastaju zbog nejednake brzine gibanja Sunca po ekliptici (što je odraz eliptičnosti zemljine staze) i upotrebe zonskog umjesto mjesnog vremena.

U trenutku pravog sunčevog podneva Sunce se nalazi točno u smjeru juga, dakle u mjesnom meridijanu. Zato se prolaz Sunca kroz smjer juga naziva i prolaz Sunca kroz meridijan. Od činjenice da je u tom trenutku Sunce najviše iznad obzora potiče i treće ime za ovu istu pojavu: kulminacija Sunca. Kako je u tom času Sunce točno u smjeru juga, sjena okomitog štapa ili viska padat će točno u smjer sjevera. Potrebno je dakle odrediti trenutak u kojem Sunce prolazi kroz meridijan. Da bismo to mogli učiniti, moramo znati jednadžbu vremena za taj dan.

Jednadžba vremena je upravo razlika podneva po mjesnom vremenu i trenutka prolaska Sunca kroz meridijan, a određuje se složenim astronomskim proračunima. No s dovoljnom točnošću za naše potrebe možemo je odrediti uz pomoć tablice 3. Trenutak prolaska Sunca kroz meridijan (izražen u mjesnom vremenu) računa se na slijedeći način:

trenutak prolaska Sunca kroz meridijan = 12 sati - jednadžba vremena

U slijedećem koraku iz mjesnog vremena moramo prijeći na srednje sunčevo vrijeme, po postupku koji je opisan u prethodnoj glavi ove knjige.

**Tablica 3:** Jednadžba vremena kroz godinu. Jednadžba vremena (JV) je ovdje definirana kao  $JV = \text{pravo sunčevo vrijeme} - \text{srednje sunčevo vrijeme}$ .

dat.	JV	dat.	JV	dat.	JV	dat.	JV
1.1	+3 <sup>m</sup> 16 <sup>s</sup>	3.4	+3 <sup>m</sup> 28 <sup>s</sup>	4.7	+4 <sup>m</sup> 16 <sup>s</sup>	4.10	-11 <sup>m</sup> 6 <sup>s</sup>
4.1	+5 8	7.4	+2 19	8.7	+4 56	8.10	-12 19
9.1	+6 54	11.4	+1 13	12.7	+5 31	12.10	-13 22
13.1	+8 26	15.4	+0 11	16.7	+5 58	16.10	-14 19
17.1	+9 54	19.4	-0 45	20.7	+6 17	20.10	-15 7
21.1	+11 8	23.4	-1 35	24.7	+6 27	24.10	-15 44
25.1	+12 11	27.4	-2 17	28.7	+6 28	28.10	-16 10
29.1	+13 1	1.5	-2 52	1.8	+6 20	1.11	-16 24
2.2	+13 38	5.5	-3 17	5.8	+6 2	5.11	-16 26
6.2	+14 2	9.5	-3 34	9.8	+5 34	9.11	-16 14
10.2	+14 13	13.5	-3 41	13.8	+4 56	13.11	-15 49
14.2	+14 11	17.5	-3 40	17.8	4 10	17.11	-15 11
18.2	+13 58	21.5	-3 30	21.8	+3 15	21.11	-14 19
22.2	+13 34	25.5	-3 11	25.8	+2 14	25.11	-13 14
26.2	+12 59	29.5	-2 44	29.8	+1 5	29.11	-11 56
2.3	+12 16	2.6	-2 10	2.9	-0 8	3.12	-10 28
6.3	+11 25	6.6	-1 29	6.9	-1 27	7.12	-8 50
10.3	+10 26	10.6	-0 44	10.9	-2 49	11.12	-7 4
14.3	+9 23	14.6	+0 5	14.9	-4 14	15.12	-5 12
18.3	+8 15	18.6	+0 56	18.9	-5 40	19.12	-3 15
22.3	+7 4	22.6	+1 48	22.9	-7 5	23.12	-1 16
26.3	+5 52	26.6	+2 40	26.9	-8 29	27.12	+0 44
30.3	+4 39	30.6	+3 29	30.9	-9 49	31.12	+2 41

**Primjer:** odrediti trenutak kulminacije Sunca u Zagrebu 15.06.

Prvo nađemo jednadžbu vremena za ovaj dan: -0<sup>m</sup> 24<sup>s</sup> (pazite na predznak!)

Nakon toga odredimo trenutak kulminacije Sunca po mjesnom vremenu tako da od 12 sati odbijemo jednadžbu vremena:

$$12^{\text{h}} 0^{\text{m}} 0^{\text{s}} - (-0^{\text{m}} 24^{\text{s}}) = 12^{\text{h}} 0^{\text{m}} 0^{\text{s}} + 0^{\text{m}} 24^{\text{s}} = 12^{\text{h}} 0^{\text{m}} 24^{\text{s}}$$

Da bismo iz mjesnog vremena prešli na zonsko prvo nađemo razliku zemljopisnih širina Zagreba ( $15^{\circ} 59' \text{ E}$ ) i središnjeg meridijana vremenske zone u kojoj se Zagreb nalazi ( $15^{\circ}$ ):  $0^{\circ} 59'$

Ovu razliku, izraženu u stupnjevima pomnožimo sa 4 da bismo dobili razliku u vremenu:  $3^{\text{m}} 56^{\text{s}}$

Ovu razliku odbijemo od mjesnog vremena da bismo dobili zonsko vrijeme:  $11^{\text{h}} 56^{\text{m}} 28^{\text{s}}$

I na kraju, kako je tog datuma na snazi ljetno vrijeme, zonskom vremenu dodamo 1 sat da prešli na ljetno vrijeme. Trenutak kulminacije Sunca je dakle  $12^{\text{h}} 56^{\text{m}} 28^{\text{s}}$  ljetnog vremena!

Kad smo uspješno prebrodili ovaj račun, možemo prijeći na praktični dio određivanja meridijana. Na prikladnom mjestu postavimo vertikalni štap ili, još bolje, objesimo visak. Kao visak može poslužiti bilo koji teži predmet obješen na konop na mjestu zaklonjenom od vjetrova. U trenutku kulminacije Sunca na prikladan način (kredom, bojom, zabijanjem kolčića i sl.) označimo sjenu viska na tlu i smjer sjever-jug je određen!

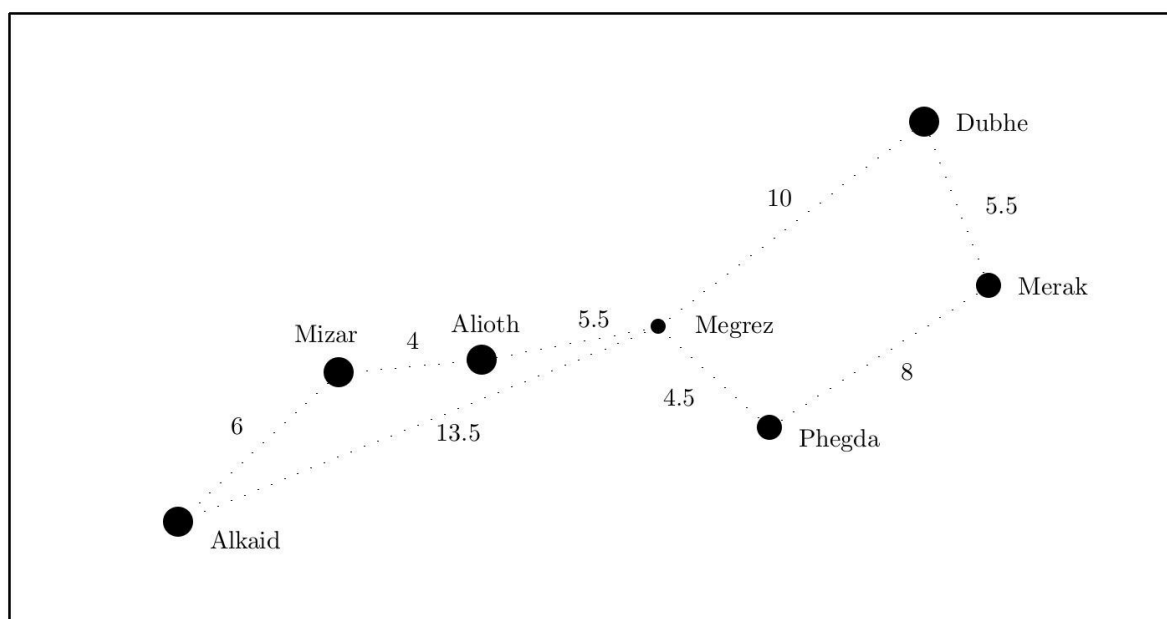
## Mjerenje kuteva na nebeskom svodu

Ponekad trebamo procijeniti kutne udaljenosti na nebeskom svodu. Recimo, kod uspoređivanja izgleda zvijezda na karti sa onim na nebeskom svodu često si ne možemo predočiti koliko je u naravi zvijezde prikazano na malenoj karti veliko. Mjerilo karte nam je doduše poznato, (znamo koliko mm na papiru odgovara jednom stupnju na nebeskom svodu), ali je taj odnos teško prenijeti na nebeski svod ako ne znamo barem otprilike ocijeniti kuteve na njemu. U slučaju da mjerilo karte nije označeno, upotrijebimo skalu deklinacije. Jedan stupanj na njoj odgovara jednom stupnju na nebeskom svodu!

Postoji nekoliko vrlo jednostavnih načina grubog mjerenja kutnih udaljenosti. Male kuteve možemo ocijeniti uspoređujući ih sa prividnim promjerom Mjeseca, ako je on iznad obzora. Kako je prividni promjer Mjeseca oko pola stupnja, uz njegovu pomoć lako možemo ocijeniti kuteve od nekoliko stupnjeva, izražavajući ih u jedinicama promjera Mjeseca.

Druga, također vrlo praktična metoda, koristi dijelove naše vlastite ruke. Ispružimo li ruku potpuno ispred sebe, tada naš uzdignuti palac pokriva kut od oko  $2^{\circ}$ . Ne vjerujete? Pokrijte Mjesec malim prstom pa ćete se u to lako uvjeriti! Stisnuta šaka pokriva na nebu oko  $9^{\circ}$  a između vrha palca i vrha kažiprsta potpuno raširenih prstiju stane oko  $22^{\circ}$ !

Nepoznatu udaljenost na nebeskom svodu možemo ocijeniti i uspoređujući je sa poznatom udaljenošću između dviju zvijezda. U tu svrhu možemo upotrijebiti udaljenosti između zvijezda u Velikim kolima jer su ona uvijek iznad obzora.



**Slika 16:** Kutna udaljenost između zvijezda u liku Velikih kola. Kutna udaljenost izražena je u stupnjevima.

## Skala zvjezdanih veličina

Zvijezde se po sjaju međusobno jako razlikuju. Zato su već od davnina zvijezde prema svom sjaju razvrstane u šest razreda. Najsjajnije zvijezde ušle su u 1, a one jedva vidljive golim okom u 6 razred. Kako tada nije bilo nikakvih instrumenata koji bi mogli izmjeriti sjaj zvijezda, pripadnost pojedinom razredu određena je procjenom od oka. Podjela zvijezda u šest razreda prema njihovom sjaju zadržala se sve do danas, ali je u 19. stoljeću profinjena pomoću sve točnijih mjerenja sjaja. Tada je ta skala postavljena je tako da razlika u sjaju između zvijezde 1,00 i zvijezde 6,00 veličine bude točno 100. U njoj su se tada pojavile i decimalne zvjezdane veličine. Time je omogućeno da skala uvijek bude dovoljno precizna. Kako se tada vjerovalo da osjetljivost oka slijedi tzv. logaritamski zakon (oko vidi omjere pojedinih sjajeva a ne njihovu razliku), definirana je jedinica za mjerenje sjaja zvijezda kao razlika u sjaju od približno 2,512 puta. Ovaj čudan broj je jednak petom korijenu iz 100 pa razlika od pet zvjezdanih veličina odgovara razlici u sjaju od točno 100 puta. Tako dobivena jedinica nazvana je magnituda, i za nju se koristi pokrata  $m$ , koja se često piše kao eksponent iza same brojčane vrijednosti, da se izbjegne zamjena sa drugom jedinicom koja ima istu pokratu: metrom. Profesionalni astronomi koriste magnitude za različita područja spektra, a

ona koja nama najviše odgovara je vizualna magnituda koja se u knjigama označava sa  $m_v$ . Način njena mjerenja određen je tako da što je više moguće odgovara osjetu ljudskog oka.

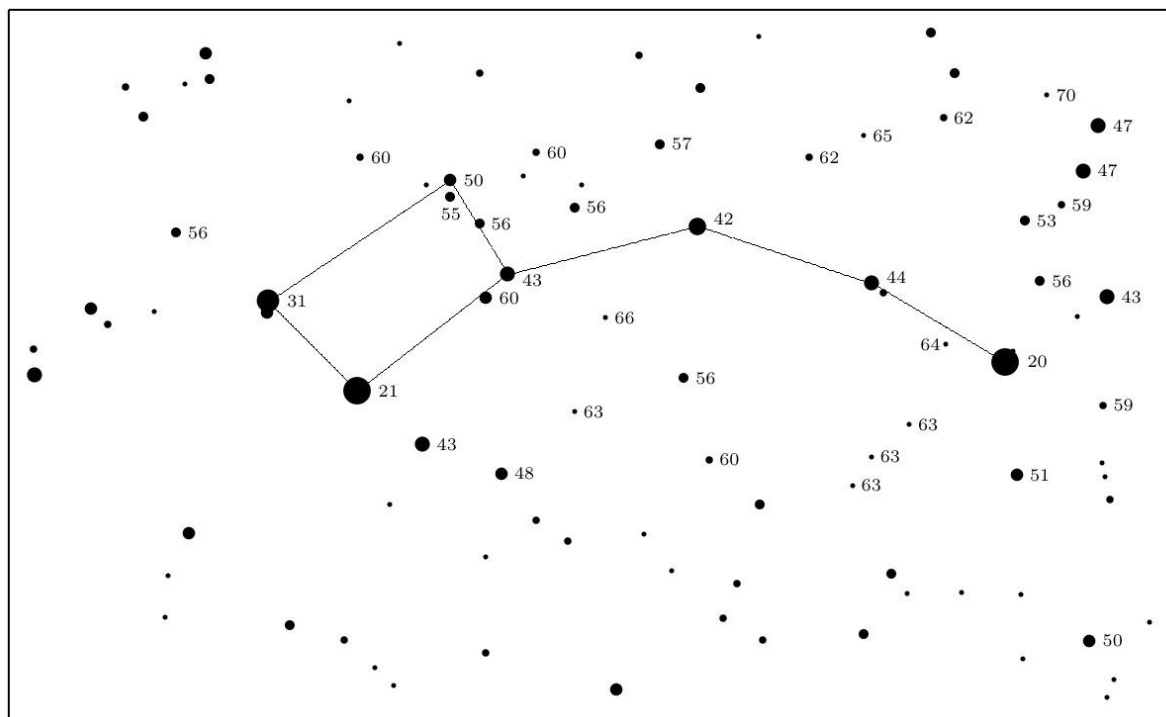
Razlike u sjajevima se kod ove skale ne zbrajaju, već se množe. Tako razlika u sjaju između zvijezde 1,00 i 2,00 veličine iznosi 2,512, ali razlika u sjaju između zvijezde 1,00 i 3,00 veličine nije  $2,512+2,512$  već je  $2,512 \times 2,512 = 6,333$  puta, između 1,00 i 4,00 veličine  $2,512 \times 2,512 \times 2,512 = 15,851$  puta, itd.

Ovakva skala doista približno odgovara osjetu ljudskog oka, no nažalost kod računanja razlika u sjaju koje nisu cijele zvjezdane veličine traži poznavanje nešto složenije matematike, tzv. logaritamskog računa. No kako kod opažanja neba nemamo neku veliku potrebu za računanjem razlike sjajeva zvijezda, ova komplikacija nama nije toliko važna. Skalu možemo koristiti i bez točnog poznavanja složene matematike koja stoji iza nje a jednostavan račun sa cjelobrojnim razlikama zvjezdanih veličina dovoljan je da nam ilustrira kako ova skala funkcionira.

Ova skala slabijim zvijezdama pridružuje veću zvjezdanu veličinu. Nkad je dvadesetak najsjajnijih zvijezda bilo je u prvom razredu. Moderna mjerenja pokazala su da su neke od tih zvijezda znatno sjajnije od drugih, pa se skala proširila i na 0. zvjezdanu veličinu, pa i dalje na negativne zvjezdane veličine. Tako je sjaj najsjajnije zvijezde nebeskog svoda, Siriusa -1,5 magnituda! Zvijezde slabijeg sjaja lakše su se uklopile: one su dobile veće magnitude od 6. Dvogled tako može pokazati zvijezde do 8 ili 9 magnitude, mali amaterski teleskop zvijezde do oko 12 magnitude, a najveći teleskopi svijeta (kad bi se kroz njih zaista moglo gledati!) pokazali bi zvijezde do 24 magnitude! Osjetljive kamere tih teleskopa vide još slabije zvijezde: čak preko 30 magnitude!

Recimo još nekoliko riječi o osjetljivosti oka na razlike u sjaju zvijezda. Neiskusni opažači mogu opaziti razliku u sjaju između dviju zvijezda od 0,3 do 0,5 magnitude a iskusni i uvježbani opažači redovito spuštaju ovu granicu ispod 0,2 magnitude. Pri tome zvijezde ne smiju biti presjajne tako da ne zaslijepljuju opažača i a boje im moraju biti slične. Ako je jedna zvijezda crvenkaste boje a druga plavkaste, njihovu razliku u sjaju je okom vrlo teško ocijeniti i pogreške su tada vrlo velike. Kako ne možemo opaziti razlike u sjaju manje od oko 0,1 magnitude, za amaterski je rad dovoljno zvjezdane veličine zaokružiti na samo jedno decimalno mjesto, a za razliku u sjaju od točno jedne magnitude upotrijebiti približni broj 2,5. Profesionalni astronomi kod preciznih mjerenja uglavnom postižu desetak puta bolju točnost pa se zvjezdane veličine tada navode sa dva ili više decimalnih mjesta. No nama je to nepotrebno.

## Granična zvjezdana veličina



**Slika 17:** Karta Malih kola i njihove okolice sa upisanim zvjezdanim veličinama. Uspoređujući ovu kartu i izgled zvjezdanog neba oko Malih kola lako možemo odrediti graničnu zvjezdanu veličinu. Ona je jednaka ili nešto malo veća od sjaja najslabije zvijezde koju u danom trenutku možemo vidjeti golim okom. Kao što je to uobičajeno, decimalni zarez je ispušten radi preglednosti, pa sjaj Sjevernjake nije 20, nego 2,0.

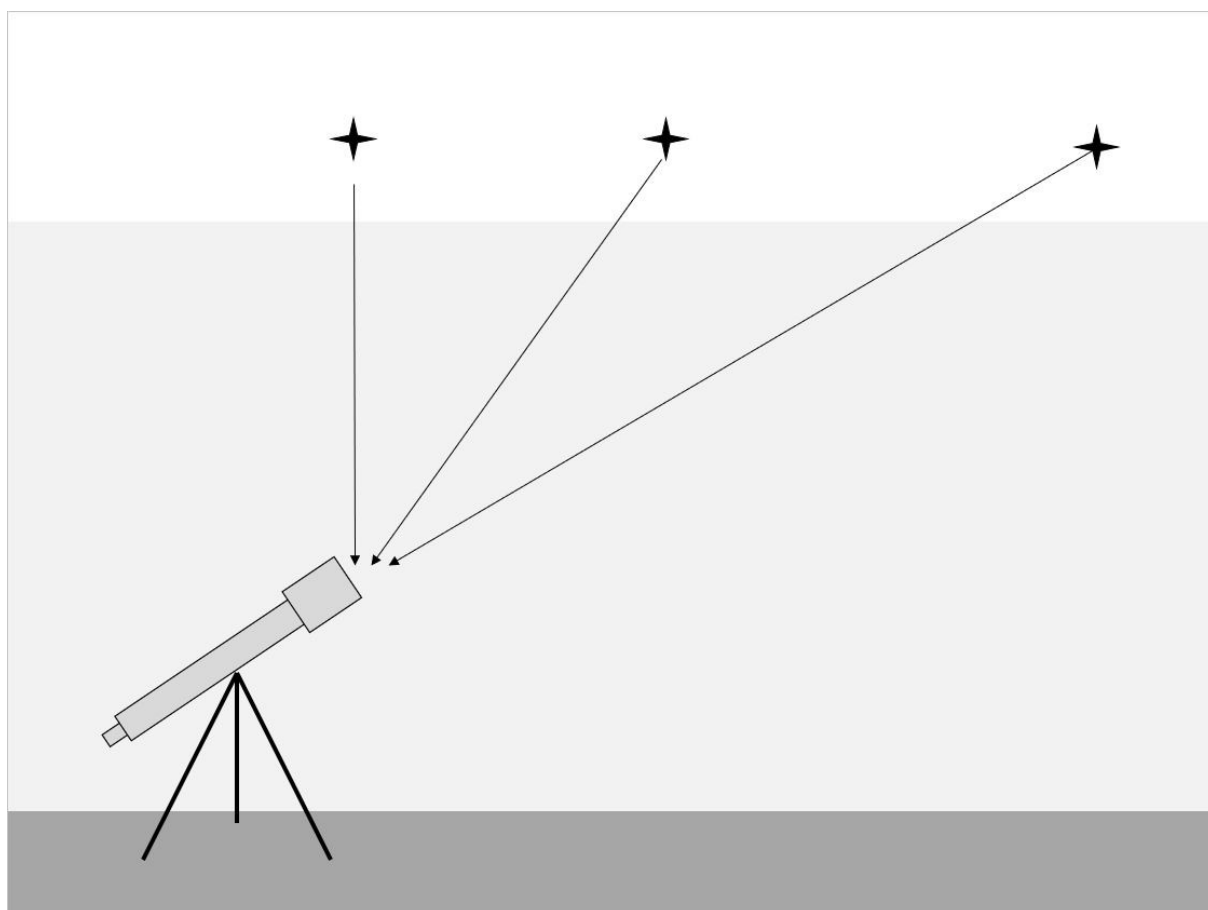
U vedroj noći daleko od smetnje svjetlosnog onečišćenja vide se zvijezde do oko 6 magnitude. Ako je nebo rasvjetljeno zbog blizine naselja ili je u zraku sumaglica, slabije se zvijezde gube i opažač vidi samo sjajnije zvijezde. To otežava ili onemogućava opažanja pa se javlja potreba za ocjenom kvalitete (tamnoće) noćnog neba. Ona se najčešće opisuje graničnom zvjezdanom veličinom. Granična zvjezdana veličina je zvjezdana veličina najslabijih zvijezda koje u trenutku opažanja možemo vidjeti u blizini zenita. Kao što smo već rekli, ona je za prosječnog opažača u vedroj noći i daleko od izvora svjetlosnog onečišćenja oko 6,0.

Granična zvjezdana veličina određuje se opažanjem zvijezda poznatog sjaja. Često se za tu svrhu koristi zvijezde Malih kola jer je ono uvijek iznad obzora. Na slici 17. je karta Malih kola i njihove okoline sa upisanim sjajem pojedinih zvijezda. Kao što je to uobičajeno na takvim kartama, magnitude su napisane sa jednim decimalnim mjestom uz ispuštanje



decimalnog zareza. Time se izbjegava mogućnost zamjene decimalnog zareza (ili točke na mnogim kartama engleskog govornog područja) i slabe zvijezde. Karta ujedno postaje preglednija. Zapamtite dakle da je decimalni zarez ispušten, pa tako sjaj Sjevernjače nije 20 već 2,0 m<sub>v</sub>!

## Ekstinkcija



**Slika 18:** Put svjetla zvijezde kroz zemljinu atmosferu do opažača na njenoj površini. Kod ove je jednostavne skice zakrivljenost Zemlje (i atmosfere) zanemarena! Put kroz atmosferu najkraći je kad se zvijezda nalazi u zenitu, i raste kad se ona udaljava od njega. U blizini obzora ovaj jednostavni model nije više pouzdan i mora se u obzir uzeti zakrivljenost Zemlje i njene atmosfere.

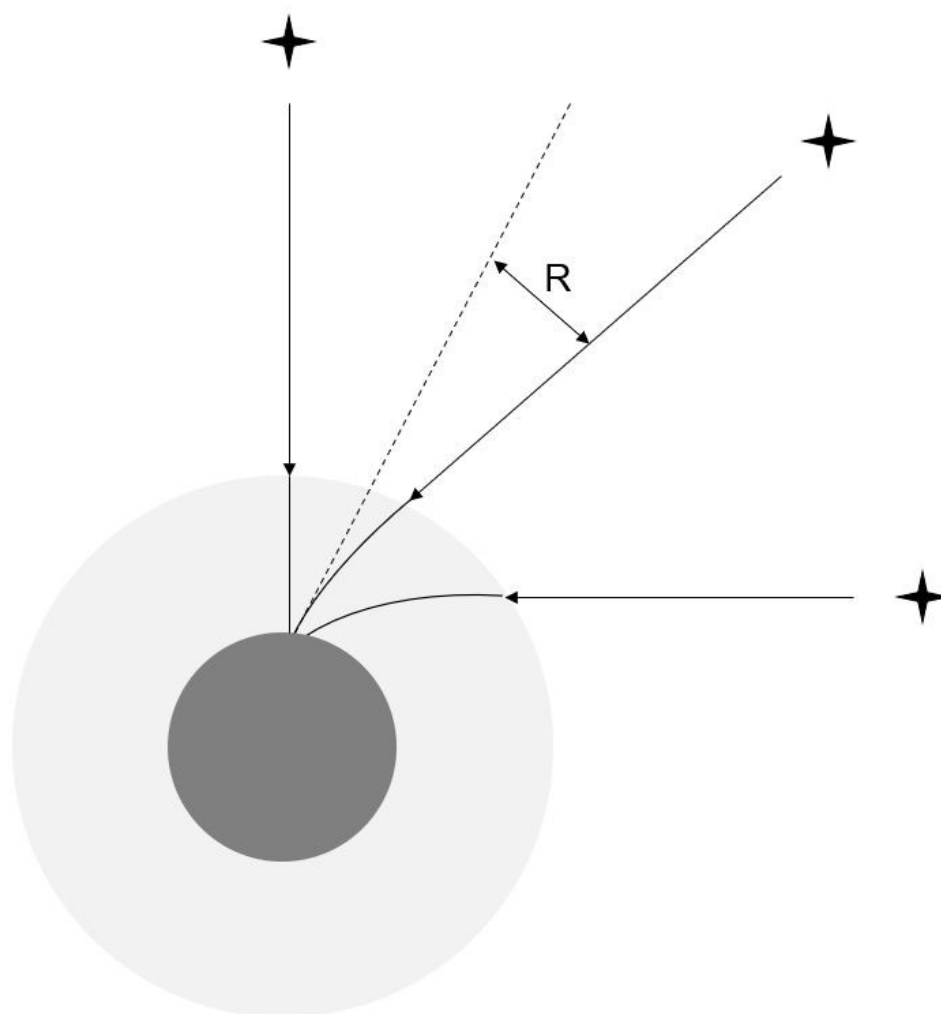
Kod prolaska svjetla kroz atmosferu dolazi do upijanja njegovog malog dijela. Kod čiste atmosfere gubitak svjetla je malen, ali ako u zraku ima mnogo vlage ili prašine ovo upijanje je znatno jače. Zbog toga dolazi do slabljenja svijetla zvijezda pa se sjaj zvijezda prividno smanjuje. Ova pojava naziva se ekstinkcija i izražava se u magnitudama kao i sam sjaj zvijezda. Ekstinkcija pokazuje za koliko magnituda je svjetlo neke zvijezde oslabljeno na

svom putu kroz atmosferu. Ekstinkcija ovisi o debljini sloja zraka kroz koji svjetlo prolazi i o njegovom sastavu i čistoći. Ona je zato najmanja u zenitu jer tada svjetlo do površine Zemlje dolazi najkraćim putem. U blizini obzora ekstinkcija može biti vrlo velika jer svjetlo mora proći kroz znatno deblji sloj zraka, koji je uz to opterećeniji vlagom i prašinom. Ekstinkcija se obično promatra relativno, kao razlika u slabljenju kad je zvijezda u zenitu i kad je na manjoj visini iznad obzora. Po tome je ekstinkcija u zenitu 0, a kako se približavamo obzoru ona polagano raste. Iako se ekstinkcija iz noći u noć može znatno promijeniti, njezine prosječne vrijednosti su dobro poznate i navedene su u tablici 4. Uobičajeno je da se put svjetla kroz atmosferu izražava relativno, prema putu koje mora proći svjetlo kad je zvijezda u zenitu. Tada se kaže da je taj put jednak jedinici, i on postaje sve veći kako se zvijezda približava obzoru. Račun tog puta nije sasvim jednostavan, jer osim što je zemljina atmosfera zakrivljena, ona sa porastom visine postaje sve rjeđa, pa su to faktori koji se moraju uračunati u put svjetla kroz atmosferu.

**Tablica 4:** Prosječna ekstinkcija (slabljenje svjetla zvijezda) u ovisnosti u visini zvijezde nad obzorom. U drugom stupcu je debljina sloja zraka kroz koji svjetlo mora proći do opažača u usporedbi s debljinom sloja zraka za zvijezdu u zenitu. U trećem stupcu je prosječno slabljenje sjaja zvijezde izraženo u zvjezdanim veličinama.

visina (stupnjeva)	debljina sloja zraka	ekstinkcija (zvj. vel.)
3	15,4	2,6
4	12,4	2,1
5	10,4	1,8
6	8,9	1,5
8	6,9	1,2
10	5,6	1,0
15	3,8	0,7
20	2,9	0,5
25	2,3	0,4
30	2,0	0,2
40	1,3	0,1
90	1,0	0

## Refrakcija



**Slika 19:** Prilikom prolaska kroz zemljinu atmosferu svjetlo se lomi prema gušćim slojevima zraka. Što je visina zvijezde manja, taj lom je veći. Gledajući sa zemljine površine, čini nam se da je visina zvijezde veća nego što je to ona u stvarnosti. Ova pojava naziva se refrakcija (na skici označena kao kut  $R$ ).

Atmosfera je najgušća uz zemljinu površinu a gustoća joj s visinom sve brže opada. Zbog toga, i zbog zakrivljenosti Zemlje, ona se ponaša kao slaba leća pa lomi svjetlo zvijezda i mijenja smjer iz kojeg ono dolazi. Pri tome dolazi do malog prividnog podizanja zvijezde, tj. povećanja njene visine nad obzorom. Promjena smjera u kojem nebeske objekte vidimo (kut za koji su prividno podignuti) naziva se refrakcija. U zenitu je nema jer svjetlo dolazi okomito

na atmosferu, a kako se kut prema okomici povećava, refrakcija raste, prvo polagano a onda, u blizini obzora, sve brže. Refrakcija počinje biti primjetna kad zenitna udaljenost postane veća od oko  $30^\circ$ . Točan iznos refrakcije ovisi o meteorološkim uvjetima i nadmorskoj visini mjesta opažanja. Srednja vrijednost refrakcije za mjesto na morskoj površini prikazana je u tablici 2.

Refrakcija je na obzoru usporediva sa prividnim promjerom Sunca (ili Mjeseca). Tako u trenutku kad vidimo da Sunce (ili Mjesec) zalazi, oni su zapravo već ispod obzora. Zbog refrakcije dolazi do mnoštva zanimljivih pojava, od razvlačenja slike zvijezda u dugine boje (iznos refrakcije ovisi o boji svjetla) i obojenih rubova diskova planeta, kad su oni nisko nad obzorom, pa do izobličenja sunčevog ili mjesečevog diska u blizini obzora. Oba nebeska tijela imaju prividni promjer od oko pola stupnja, pa je na obzoru razlika u refrakciji za gornji i donji rub njihova diska (vidi tablicu 5!) oko 7 lučnih minuta, dovoljno da disk bude primjetno spljošten po visini.

**Tablica 5:** Prosječna refrakcija (kut za koji je visina zvijezde prividno povećana zbog loma njenog svjetla u zemljinoj atmosferi) u ovisnosti o prividnoj visini zvijezde nad obzorom. Da nema zemljine atmosfere, visina zvijezde bila bi za taj iznos manja.

visina (stupnjeva)	refrakcija
0	37'
0,5	30'
1	26'
2	19'
5	10'
10	5'
20	3'
30	2'
40	1'
90	0'

## Ocjena stanja atmosfere

Kod pisanja bilježaka o učinjenim opažanjima potrebno je pribilježiti i u kakvim uvjetima je opažanje učinjeno. Tu prvenstveno treba pribilježiti koliko je nebo bilo vedro ili djelomično pokriveno oblacima, koliko je jako bilo svjetlosno onečišćenje, i kod opažanja većim povećanjima, koliko je slika bila mirna. Dobro je pribilježiti i ostale meteorološke podatke, ako su nam poznati.

Za ocjenu oblačnosti služe jednostavne skale koje idu od 0 do 5 ili od 0 do 10. Sve su one međusobno vrlo slične a po mom sudu jednostavna skala iz tablice 6. sasvim je dovoljna za ovu svrhu.

**Tablica 6:** Skala za ocjenu oblačnosti.

ocjena oblačnosti	opis
N0	potpuno vedro
N1	poneki oblačić na nebu
N2	djelomično oblačno nebo
N3	uglavnom oblačno nebo
N4	potpuno oblačno nebo
N5	kiša ili snijeg

Čak i kad je nebo potpuno vedro, iskusan opažač primjetit će od noći do noći znatnu razliku u vidljivosti zvijezda. U sparnim ljetnim noćima jedva se vide tek najsjačajnije zvijezde, dok je u zimskim noćima nebo počesto sve do obzora posuto bezbrojem zvijezda. Uzrok tome su promjene u prozirnosti atmosfere. Čist, hladan i suh zrak izuzetno je proziran, ali nažalost i izuzetno rijetka pojava. U zraku se uglavnom nalazi određena količina vlage i prašine, a u blizini većih naselja i mnogo drugih tvari i čestica, primjerice dima i ispušnih plinova. Vлага upija dio svjetla zvijezda, i što je još gore, raspršuje svjetlo umjetne rasvjete i tako posvjetljuje noćno nebo. Prašina djeluje slično, često puta još snažnije od vlage. Kako topli zrak može u sebi nositi mnogo više vlage od hladnog, ova je pojava mnogo prisutnija ljeti.

U posebnim situacijama, primjerice nakon velikih vulkanskih erupcija koje u stratosferu mogu ubaciti ogromne količine prašine, vidljivost slabijih zvijezda može biti otežana i duži vremenski period. Prisutnost takove prašine za posljedicu ima vrlo lijepe crvene zalaze i izlaze Sunca, a potrebno je i nekoliko godina da se fina prašina slegne i stratosfera opet očisti.

Prodori čistog polarnog zraka ljeti iza kiše a zimi iza snijega donose u naše krajeve suh i čist zrak pa je tada noćno nebo čisto i osuto zvijezdama. To su noći najprikladnije za opažanje slabih maglica, posebno ako su one nisko nad obzorom. Kad je pak zrak topao i prepun vlage, područje uz obzor je svijetlo i prazno, kao da je netko tamo uklonio sve zvijezde. I tada je moguće opažati objekte u blizini zenita jer je utjecaj vlage znatno manji kad je visina objekta veća od oko 45°. Glavni je problem kod vlažnog zraka svjetlosno onečišćenje jer ga vlaga pojačava i znatno povećava svjetlinu neba. Slična je situacija i kad je Mjesec na nebeskom svodu, ali tada barem možemo pričekati da on zađe, dok je svjetlosno onečišćenje nažalost uvijek tu.

S druge strane, velika količina vlage u zraku znade znatno stabilizirati atmosferu pa je to onda pravi trenutak za sva opažanja koja zahtijevaju velika povećanja i mirnu sliku. Za ocjenu prozirnosti atmosfere služi skala iz tablice 7.

**Tablica 7:** skala za ocjenu kvalitete noćnog neba.

ocjena prozirnosti atmosfere	opis
P0	magla
P1	jaka sumaglica
P2	umjerena sumaglica
P3	lagana sumaglica
P4	čisto nebo
P5	izuzetno čisti zrak

Mirnoća atmosfere itekako može utjecati na astronomska opažanja, posebno ako ona zahtijevaju upotrebu velikih povećanja. Najbolji primjer tome su vedre zimske noći kad je nebo posuto tisućama zvijezda. No pogled kroz teleskop kod malo većeg povećanja pokazuje da zvijezde izgledaju kao krumpiri, planeti kao nejasne mrlje a na Mjesecu sve kuha. To je posljedica miješanja slojeva zraka različitih temperatura koje je često posebno jako baš u kristalno jasnim, hladnim zimskim noćima. Kako zrak različite temperature različito lomi svjetlo, uzburkani slojevi zraka otklanjaju svjetlo zvijezda čas u jednu, čas u drugu stranu. Već i golim okom primjećuje se da zvijezde jako trepere, a pogled kroz teleskop otkriva već opisano titranje i neoštrinu slike. U tim je uvjetima opažanje većim povećanjima nemoguće, ali su takove noći zbog velike prozirnosti zraka idealne za opažanje maglica.

Ocjena mirnoće atmosfere nešto je složenija od ocjene prozirnosti. Mirnoća slike znatno ovisi o veličini teleskopa. Mali teleskop može pokazivati oštru sliku, dok istovremeno veliki teleskop uz njega i te kako osjeća posljedice nemirnosti atmosfere. Veći teleskop ima bolju razlučnu moć pa je stoga osjetljiviji na neoštrinu slike. Uz to on zbog veće površine objektiva češće obuhvaća nekoliko "neravnina" zračnih slojeva istovremeno, što dodatno kvari sliku. Ove su "neravnine" uglavnom velike između 10 i 20 cm, pa je jasno da će svaki teleskop promjera objektiva većeg od desetak centimetara imati problema s mirnoćom atmosfere. Profesionalni astronomi bježe zato na vrhove planina, gdje se nalaze iznad najnemirnijeg dijela atmosfere, ali amateri si to uglavnom ne mogu priuštiti. Preostaje im da se prilagode svojem opažačkom mjestu i da noći kad je zrak jako nemiran iskoriste za opažanja malim povećanjima. I na najgorim mjestima povremeno se stvore uvjeti kad je zrak miran i stabilan a slika u teleskopu oštra i jasna. Svaki strpljivi opažatelj dočekaće tada svojih pet minuta.

Nemirnoća atmosfere najmanje je primjetna kod opažanja objekata u blizini zenita. Kvaliteta slike ne kvari se mnogo u krugu polumjera 30tak stupnjeva oko zenita, pa je to mjesto gdje treba opažati, ako je to naravno moguće. Na našim zemljopisnih širinama niti Mjesec niti planeti ne dolaze tako blizu zenitu, pa je njihovo opažanje često puta otežano. Tu je jedina pomoć opažanje u blizini meridijana jer su nebeska tijela tada najviše na nebeskom svodu. Treba pripaziti i da linija gledanja ne prolazi iznad velikih betonskih ili asfaltnih površina,

koje se danju na suncu jako zagrijavaju, a noću sporije hlade od okoline, pa topli zrak koji se sa njih diže stvara lokalnu nemirnoću zraka. Zimi treba zaobilaziti gledanje iznad dimnjaka i toplih krovova zgrada. Najbolje je kad linija gledanja prolazi iznad zelenila. Začudo i središta velikih gradova često puta po mirnoći atmosfere ne zaostaju za mjestima daleko od njih. Strpljiv će opažač nakon nekog vremena znati kada može očekivati mirnu i ostru sliku.

Skale za ocjenu mirnoće slike prilično su složene. No za amaterske potrebe i ona pojednostavljena iz tablice 8. bit će sasvim dovoljna. Uz nju treba pribilježiti promjer objektiva teleskopa, povećanje i približnu visinu na kojoj se kod opažanja objekt nalazio.

**Tablica 8:** skala za ocjenu mirnoće slike. Utjecaj titranja zraka na sliku Mjeseca sličan je onome na vidljivost detalja na planetima.

mirnoća atmosfere	opis
M0	zvijezde izgledaju kao napuhani krumpiri. Planeti potpuno mutni i bez ikavih detalja.
M1	zvijezde primjetno povećane već i kod srednjeg povećanja. Planeti neoštri a najistaknutiji detalji samo povremeno se naziru.
M2	zvijezde vriju i trepere. Samo povremeno se primire i smanje. Planeti neoštri i u stalnom gibanju. U rijetkim trenucima vidljivi najistaknutiji detalji na disku.
M3	samo u rijetkim trenucima slika mirna i zvijezde pokazuju ogibnu sliku. Diskovi planeta stalno u gibanju. Samo na trenutke slika je mirna i oštra.
M4	zvijezde pokazuju ogibnu sliku veći dio vremena. Diskovi planeta oštri i mirni, povremeno primjetno lagano gibanje slike i deformacije ruba diska.
M5	zvijezde pokazuju savršenu ogibnu sliku. Diskovi planeta oštri i nepomični, sa mnoštvom površinskih detalja.

Pored svih ovih podataka može se pribilježiti i jačina vjetera. Ona ne utječe direktno na kvalitetu slike, ali izaziva trešnju teleskopa i osjećaj nelagode kod opažača pa pa posredno itekako djeluje na duljinu i lakoću opažanja. Za ovu svrhu dovoljna je skala od samo nekoliko stupnjeva, npr. ona iz tablice 9.

**Tablica 9:** skala za ocjenu jačine vjetra.

jačina vjetra	opis
V0	potpuno mirno
V1	lagani povjetarac
V2	umjereni vjetar
V3	jak vjetar
V4	olujni vjetar

## Svjetlina noćnog neba i svjetlosno onečišćenje

Mnoga mjesta sa kojih opažamo su u blizini nekog naselja ili čak unutar njega. Kao amateri, često nemamo ni vremena, ni financijskih mogućnosti da potražimo dobro mjesto za noćna opažanja. U takvoj situaciji kvaliteta noćnog neba ograničena je količinom umjetne rasvjete oko njega. Glavna posljedica svjetlosnog onečišćenja je povećanje svjetline noćnog neba, što dovodi do toga da se objekti slabijeg sjaja, kao i slabije zvijezde sa tog mjesta ne mogu vidjeti. Djelomično je utjecaj svjetlosnog onečišćenja opisan graničnom zvjezdanom veličinom (za golo oko) za mjesto i vrijeme opažanja, no za potpuniji opis cjelokupne situacije danas je među amaterima često korištena Bortle-ova skala koja je nastala u SAD-eu prije dvadesetak godina. Ona je dana u tablici 10. Njen je nedostatak da traži prilično opažačko iskustvo, ali svejedno ju slobodno možete pokušati koristiti.

**Tablica 10:** Bortle-ova skala za ocjenu kvalitete neba nekog opažačkog mjesta.

Bortle-ova klasa	naziv klase	granična zvjezdana veličina	opis
1	prirodno nebo	7,6-8,0	Zodijakalno svjetlo, gegenshein i zodijakalni pojas vidljivi. M33 vidljiva direktnim pogledom. Područja Kumove slame u Škorpionu i Strijelcu bacaju vidljive sjene na tlo. Svjetlucanje atmosfere (airglow) jasno vidljivo. Jupiter i Venera kvare prilagodbu oka na tamu. Okolina praktički nevidljiva.
2	tamno nebo	7,1-7,5	Svjetlucanje atmosfere (airglow) nazire se uz obzor. M33 vidljiva golim okom. Uočljiva detaljna struktura Kumove slame. Zodijakalno svjetlo je žute boje i dovoljno svijetlo da baca sjene u sumrak i zoru. Oblaci vidljivi samo kao tamne rupe na nebu. Okolina se nazire u silueti prema nebu. Mnogi Messierovi kuglasti skupovi jasno vidljivi golim okom.



3	seosko nebo	6,6-7,0	Malo svjetlosnog onečišćenja vidljivo uz obzor. Oblaci osvijetljeni uz obzor, tamni iznad glave. Kumova slama i dalje izgleda kompleksno. M15, M4, M5 i M22 lako vidljivi golim okom. M33 lako vidljiva rubom oka. Zodijakalno svjetlo upečatljivo u proljeće i jesen, žuta boja još uočljiva. Bliža okolina se nazire.
4	svjetlo seosko nebo	6,1-6,5	Kupole svjetlosnog onečišćenja vidljive u raznim smjerovima iznad obzora. Zodijakalno svjetlo u sumrak i zoru još vidljivo, ali samo do manje od polovice puta od obzora do zenita. Kumova slama iznad obzora još upečatljiva, ali bez sitnih detalja. M33 se nazire rubom oka, ako je na visini većoj od 55°. Oblaci svijetli u smjeru izvora svjetla, tamni iznad glave. Okoliš jasno vidljiv, čak i u daljini.
5	prigradsko nebo	5,6-6,0	Zodijakano svjetlo jedva se nazire u najboljim noćima proljeća i jeseni. Kumova slama u blizini obzora slaba ili nevidljiva, a iznad glave izgleda blijedo. Izvori svjetla vidljivi u većini smjerova, ili oko cijelog obzora. Oblaci znatno svjetliji od neba.
6	svjetlo prigradsko nebo	5,1-5,5	Zodijakalno svjetlo nevidljivo. Kumova slama vidljiva samo u blizini zenita. Nebo do visine od 35° svijetle sivo-bijele boje. Oblaci svugdje na nebu prilično svijetli. M33 se ne vidi golim okom, M31 uočljiva.
7	tamno gradsko nebo	4,6-5,0	Nebo po svjetlini približno jednako svjetlini neba kod punog Mjeseca. Cijelo nebo svijetlo, jaki izvori svjetla primjetni u svim smjerovima uz obzor. Kumova slama nije vidljiva. M31 i M44 naziru se rubom oka. Oblaci svijetli. Messierovi objekti čak i u većim teleskopima vrlo blijedi. Za vrijeme punog Mjeseca prirodno nebo nije bolje od ove klase čak i na najtamnijim lokacijama, s tom razlikom da je boja neba plavičasta, za razliku od narančasto-bijele boje svjetlosno onečišćenog neba.
8	gradsko nebo	4,1-4,5	Nebo je bijelo ili narančasto. Pod njegovim svjetlom lako se može čitati. M31 i M44 jedva uočljivi za iskusnog opažača u najboljim noćima. Čak i sa većim teleskopom mogu se vidjeti samo sjajni Messierovi objekti. Zvijezde koje tvore poznate likove sjajnijih zvijezda počinju nestajati.

9	nebo gradskog središta	4,0 ili manje	Nebo jako sjajno, mnoge zvijezde nisu više vidljive. Zviježđa slabijeg sjaja nevidljiva. Osim Plejada nijedan Messierov objekt nije vidljiv golim okom. Jedini objekti koje je još moguće dobro opažati su Mjesec, planeti i nekoliko najsajnijih zvjezdanih skupova.
---	------------------------	---------------	---

Ukoliko vam se ova skala čini presloženom za vaše potrebe, stanje svjetlosnog onečišćenja na mjestu sa kojeg opažate slobodno možete opisati i svojim riječima!

## Planiranje opažanja

Za razliku od profesionalnih astronoma, amateri ne moraju unaprijed detaljno planirati svoja opažanja. Često je puta baš najljepše izvući teleskop pod zvjezdani svod i bez reda promatrati zvijezde, maglice ili možda Mjesec. Međutim, želimo li vidjeti neki točno određeni objekt, dobro je unaprijed barem ugrubo isplanirati što nam za to opažanje treba i kako ćemo željeno opažanje najlakše napraviti. To je posebno važno ako nam je vrijeme koje za opažanje imamo na raspolaganju iz bilo kojeg razloga ograničeno. U tom ga slučaju zaista ne želimo potrošiti na neuspješno lutanje po nebeskom svodu. Tu je dobro planiranje od velike pomoći.

Način na koji ćemo pristupiti planiranju ovisi od objekta, instrumenta i našeg osobnog načina rada, ali postoji nekoliko osnovnih stvari koje svakako treba uzeti u obzir. Prvo treba saznati kad zalazi Sunce i koliko traje sumrak. Iz ovih podataka lako se nađe i početak astronomske noći, kada se već vide i najslabije zvijezde. Donedavno se to uglavnom radilo uz pomoć astronomskih kalendara i godišnjaka, a danas tu ulogu sve više preuzimaju računalni programi, uključujući tu i tzv. aplikacije za pametne telefone, tablete i sl. U nedostatku svega toga, ovi podaci mogu se dovoljno točno odrediti i uz pomoć vrteće karte. Nakon toga treba pogledati da li je za planirani trenutak opažanja objekt koji želimo opažati uopće vidljiv i gdje se otprilike nalazi. Ako je nisko nad obzorom, treba pričekati do dođe bliže meridijanu, ili, ako je već prošao kroz njega, opažati treba započeti što ranije, dok je još u njegovoj blizini.

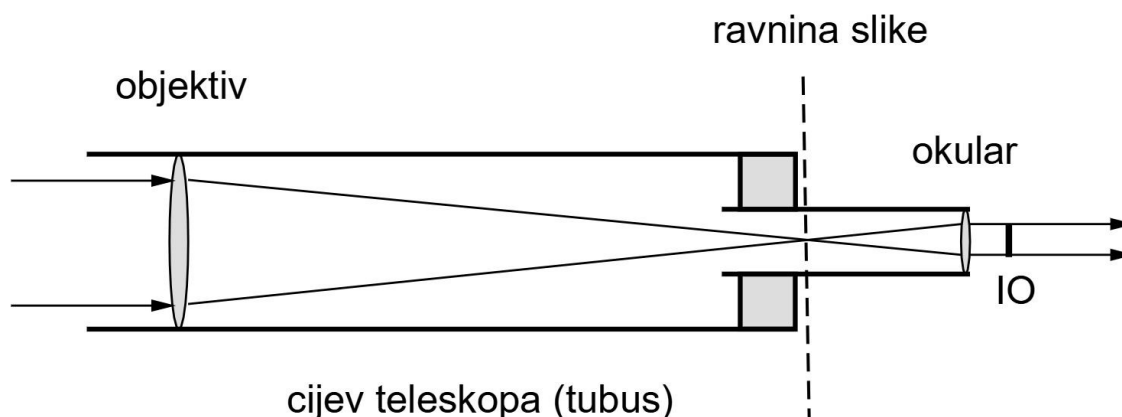
Želimo li opažati cijelu noć, treba odrediti i početak svitanja. Nakon toga obično se traže podaci o Mjesecu: u kojoj je fazi, kad izlazi i kad zalazi. Upravo prisustvo ili odsustvo Mjeseca određuje hoćemo li moći promatrati slabe objekte za što nam je potrebno potpuno tamno nebo, ili ćemo se morati zabaviti promatranjima sjajnijih objekata, npr. dvojnih zvijezda, planeta ili samog Mjeseca.

Dalje se planiranje odvija u skladu sa interesima i željama promatrača, jer njegov tok ovisi o objektima koje želi promatrati i o instrumentima sa kojima raspolaže. Uz pomoć vrteće karte može se ustanoviti koja zviježđa će biti vidljiva u trenutku promatranja i gdje će se na nebu otprilike nalaziti objekt promatranja. Pomoću detaljnijih karata i zvjezdanih atlasa priprema se traženje pojedinih objekata. Tu je dobro predvidjeti i koji pribor će nam trebati za opažanje, primjerice zaporni sat, neki filter, šablone za crtanje planeta, fotoaparat, itd? Dobro je sastaviti

detaljan popis svih potrebnih stvari, da nakon odlaska na promatranje ne bi bilo neugodnih iznenađenja. Kad nakon nekoliko sati putovanja do mjesta opažanja postavite teleskop pa ustanovite da je neki nužni dio pribora ostao zaboravljen kod kuće, prekasno je! Noć i ta prilika za opažanje uglavnom su propušteni...

Planiramo li opažanje većeg broja objekata, nije loše pokušati izraditi barem grubi vremenski plan. Tu zlata vrijede zabilješke ranijih promatranja. One će nam pomoći da ocijenimo koliko vremena moramo izdvojiti za nalaženje i opažanje svakog od objekata sa našeg popisa želja. Vidjet ćemo i da li je kod ranijih opažanja sve išlo prema našem planu, jesmo li tražene objekte našli za predviđeno vrijeme, ili je to potrajalo znatno duže. Često se baš na takvim iskustvima nauči najbolje i najrealnije planirati. I još jedna napomena na kraju: budimo razumni i planirajmo prema našim stvarnim mogućnostima. Uvijek je dobro za svaku aktivnost predvidjeti malo više vremena od onog nužno potrebnog. U slučaju nečeg nepredviđenog, npr. oblaka ili jednostavno kratkog odmora, ta rezerva će nam dobro doći. A za slučaj da smo bili brži od predviđenog, možemo si pripremiti kratak popis dodatnih želja.

## KAKO RADI TELESKOP?



**Slika 20:** Presjek kroz jednostavan teleskop (refraktor u ovom slučaju). Na prednjoj strani cijevi (tubusa) nalazi se objektiv. Slika koju on stvara nalazi se u tzv. ravnini slike. Ona se gleda kroz okular koji je smješten na drugoj strani cijevi. Oko se kod opažanja nalazi iza okulara, sa zjenicom u tzv. izlaznom otvoru teleskopa (IO) jer se samo tada može vidjeti cijela slika (tzv. vidno polje) koju teleskop daje.

Glavni dijelovi svakog teleskopa su objektiv i okular. Objektiv sakuplja svjetlo i stvara umanjenu sliku dalekih objekata u svojem žarištu. Da bismo ovu sliku mogli bolje vidjeti, gledamo je povećalom koje se u ovom slučaju naziva okular. Za ljude normalnog vida slika je oštra kad se žarište okulara podudara sa žarištem objektiva. Kratkovidni ili dalekovidni ljudi tu nemaju problema jer svoju dioptriju lako poprave pomicanjem okulara prema ili od ravnine slike (tzv. izoštravanje). Moderni okulari uz to imaju dovoljnu udaljenost izlaznog otvora da se opažati može i sa naočalama, što je korisno ako opažač ima i tzv. astigmatičnu grešku vida (tzv. cilindar), koju odgovarajuće naočale ispravljaju, a koju izoštravanjem ne možemo ukloniti. Isto se odnosi i na osobe koje nose kontaktne leće, nema potrebe da se one prilikom opažanja skidaju.

Objektiv i okular u ispravnom međusobnom položaju drži cijev teleskopa (tubus). Tubus čini najveći dio dužine instrumenta jer se okular mora nalaziti iza žarišta objektiva (keplerov teleskop), ili isto toliko ispred žarišta ako je okular negativna leća, što je danas izuzetno rijetko. Ljudi normalnog vida vidjet će kroz teleskop oštru sliku ako se žarišta objektiva i okulara podudaraju. No, kako je u stvarnosti svako oko malo drugačije, okular se mora pomakati prema ili od objektiva da bi se slika mogla sasvim izoštriti. To se obično postiže manjom cijevi koja se uvlači u glavnu cijev teleskopa i na čijem kraju je okular. Po njemu se ta cijev naziva okularna cijev.

## Mala povijest teleskopa

Teleskop se iznenada pojavio u Nizozemskoj u 16. stoljeću. Najpoznatija priča o tome kaže da su se djeca optičara Hansa Lippersheim-a iz Middleburg-a u Nizozemskoj igrala tatinim lećama. Pri tome su zapazila da, kad iza sabirne leće na određenu udaljenost postave negativnu leću veće snage, kroz negativnu leću vide povećanu sliku obližnje crkve. Njihov je otac odmah shvatio važnost ovog slučajnog otkrića i počeo izrađivati prve teleskope. Nije sigurno da je to bilo sasvim tako, iako je Lippersheim zaista prvi proizvodio teleskope u tom dijelu svijeta. Postoji dosta realna mogućnost, koju povjesničari još ispituju, da je i prije njega bilo ljudi koji su izrađivali teleskope, samo tu tajnu nisu širili dalje.

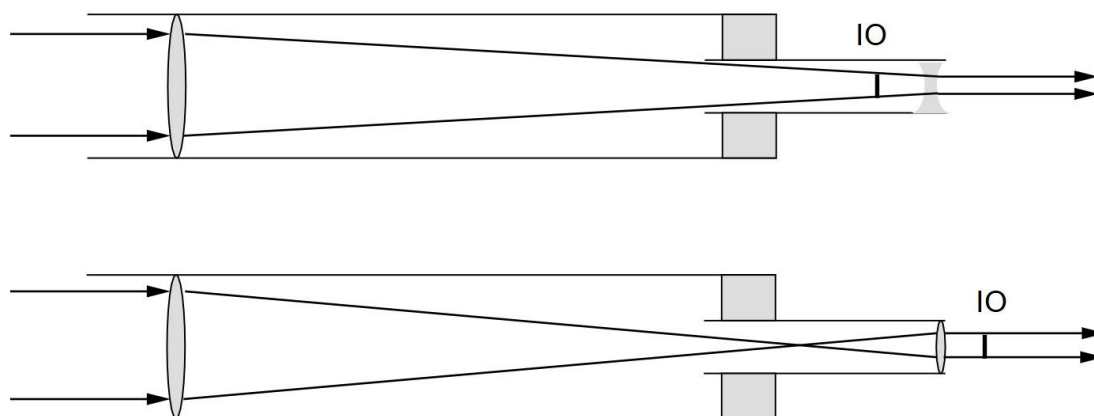
Vijest o novom instrumentu uskoro je stigla i u daleku Italiju do Galilea Galilea. Po opisu koji je dobio, Galileo je izradio svoj prvi teleskop i usavršio ga popravivši mu donekle kvalitetu slike. Nedugo nakon toga svoj je teleskop okrenuo prema noćnom nebu i tako napravio otkrića koja su promijenila svijet. Uz to ni njegov najbolji teleskop nije bio dovoljno jak da pokaže pravu prirodu saturnovog prstena!

Objektiv prvih teleskopa bio je obična pozitivna leća, a okular manja, jača negativna leća. Osoba koja je gledala kroz takav teleskop vidjela je kroz negativnu leću povećanu sliku udaljenih predmeta. Na žalost, mjesto u koje treba postaviti oko da bi se kod gledanja kroz teleskop vidjelo cijelo vidno polje nalazi se ispred negativne leće, u cijevi teleskopa. To mjesto ima oblik malenog kružića svjetla kroz koji iz teleskopa izlazi svjetlo koje je ušlo kroz njegov objektiv. Ovaj kružić naziva se izlazni otvor ili pupila instrumenta. Kod galilejevog teleskopa se on nalazi ispred leće okulara tako da mu se zbog toga okom ne možemo dovoljno približiti. To je razlog zašto je vidno polje galilejevog teleskopa jako malo. Gledajući kroz ovakav instrument imamo dojam da gledamo kroz dugi tunel na čijem se kraju vidi mali dio povećane slike predmeta koji gledamo. Što je povećanje veće, ova pojava je izraženija i vidno polje sve manje i manje. Zato je rad sa ovakvim instrumentom doista težak. Recimo još i to da se ovakav tip teleskopa po Galileu naziva galilejev teleskop.

Galileo je uskoro ustanovio da negativna leća veće snage daje veće povećanje. Ubrzo je opazio da svojim instrumentima može vidjeti zvijezde koje golim okom ne vidi. Teleskop dakle povećava i količinu svjetla koje nam dolazi od zvijezda. Tako je uspio otkriti da se Kumova slama zapravo sastoji od mnoštva sitnih zvjezdica koje ne vidimo golim okom. 1613. god. vidio je i Neptun, ali svojim slabim instrumentom nije ga mogao razlikovati od obične zvjezdice pa je tako Neptun još dugo čekao da ga netko prepozna kao planet (Neptun je otkriven 1846. god.).

Ovakav jednostavan teleskop ima nekoliko ozbiljnih nedostataka. Prvi, a to je vrlo malo vidno polje, već smo spomenuli. Drugi, znatno ozbiljniji, je kromatska pogreška (aberracija kako se stručno naziva) od koje boluju sve jednostavne leće. Svjetlo plave boje lomi se u staklu jače od svjetla crvene boje. Zbog toga je žarišna daljina staklene leće za plavo svjetlo manja od one za crveno, pa se plava slika nalazi se bliže leći od crvene. Kad izoštrimo plavu sliku, crvena je neoštra pa svi objekti u plavoj slici imaju crvene rubove. Kad pak izoštrimo crvenu sliku, postaje plava neoštra pa svi objekti imaju plave rubove. Oko prirodno pokušava izoštriti

sliku u žuto-zelenoj boji koja je onda obrubljena purpurnim rubovima (purpurna boja je mješavina plave i crvene boje).



**Slika 21:** Usporedna skica galilejevog (gore) i keplerovog teleskopa (dolje). Objektiv je kod oba teleskopa leća veće žarišne daljine. Kod galilejevog teleskopa okular se sastoji od negativne leće. Posljedica toga je da je izlazni otvor (Označen sa IO na slici) ispred okulara pa je nemoguće dovesti oko u njega. Kod keplerovog teleskopa okular je pozitivna leća i izlazni otvor se nalazi iza nje tako da je lako staviti oko u njega.

Već je Galileo primijetio da se kromatska pogreška može smanjiti ako se žarišna daljina leće poveća. Pri tome otvor leće treba naravno ostati isti. No, žarišna daljina potrebna da se ona sasvim ukloni toliko je velika da je Galileo nije koristio jer nije mogao izraditi tako dugi instrument. Pribjegao je zato drugom načinu smanjivanja kromatske pogreške: smanjio je otvor objektivu. Na taj način kromatska se pogreška lakše može smanjiti, ali na žalost uz velik gubitak svjetla. Zbog toga su svi prvi teleskopi imali vrlo male otvore objektivu, obično 1 do 2 cm u promjeru.

Objektivi većih otvora počeli su se upotrebljavati u 17. stoljeću i to je bilo doba izuzetno dugih instrumenata. Najpoznatiji su oni koje je gradio astronom Hevelius iz Danziga (današnji Gdanjsk). Njegov najveći instrument imao je otvor od 10 cm i žarišnu daljinu od 30 m! Taj je mamut bio obješen na veliku drvenu katarku da bi se mogao usmjeriti u nebo, a bilo je potrebno nekoliko ljudi da bi se njime upravljalo. No kvaliteta slike bila je besprijekorna i takvim je instrumentima napravljeno mnogo važnih otkrića, uglavnom na planetima. Tek kad je 1758 god. engleski optičar John Dollond otkrio da kombinacijom dvije leće izrađene od različitih vrsta stakla može gotovo potpuno ukloniti kromatsku pogrešku, nastao je moderni teleskop sa akromatskim objektivom.

Problem malog vidnog polja u međuvremenu je riješio poznati astronom Kepler. On je umjesto rasipne, za okular upotrijebio sabirnu leću. Izlazni otvor se kod takvog okulara nalazi iza okulara pa je lako staviti oko u njega. Tako je vidno polje znatno povećano, pa iako je

slika sad obrnuta, takav je tip okulara ostao u isključivoj upotrebi sve do danas. Uz to astronome izokrenuta slika uopće ne smeta, važno je samo da se kod opažanja zabilježi kako je ona okrenuta. Ionako su teleskopi reflektori, koji su se također pojavili, imali ne samo izokrenutu, već i zrcaljenu sliku sa zamijenjenom lijevom i desnom stranom! Jednostavni teleskop sa sabirnim okularom i danas se naziva Keplerov teleskop. Recimo za ilustraciju da je model galilejevog teleskopa, koji sam prije par godina izradio, kod povećanja od 20x imao vidno polje od svega 10'. Kad sam umjesto negativne leće za okular stavio pozitivnu, teleskop je kod istog povećanja imao vidno polje od 120', što znači da je kroz keplerov teleskop bila vidljiva 150 puta veća površina nebeskog svoda nego kod galilejevog teleskopa istog povećanja.

## Optička svojstva teleskopa

O veličini objektiva ovisi koliko će svjetla teleskop skupiti, pa se stoga teleskopi prvenstveno opisuju promjerom svojih objektiva. Uz promjer objektiva obično se navodi i njegova žarišna daljina. O njoj ovisi veličina slike u žarištu objektiva, i ona ulazi u račun povećanja pa ju je potrebno znati. Umjesto žarišne daljine po neki puta se navodi f-broj objektiva, koji je definiran kao omjer žarišne daljine,  $F$ , i promjera objektiva,  $D$ ,:

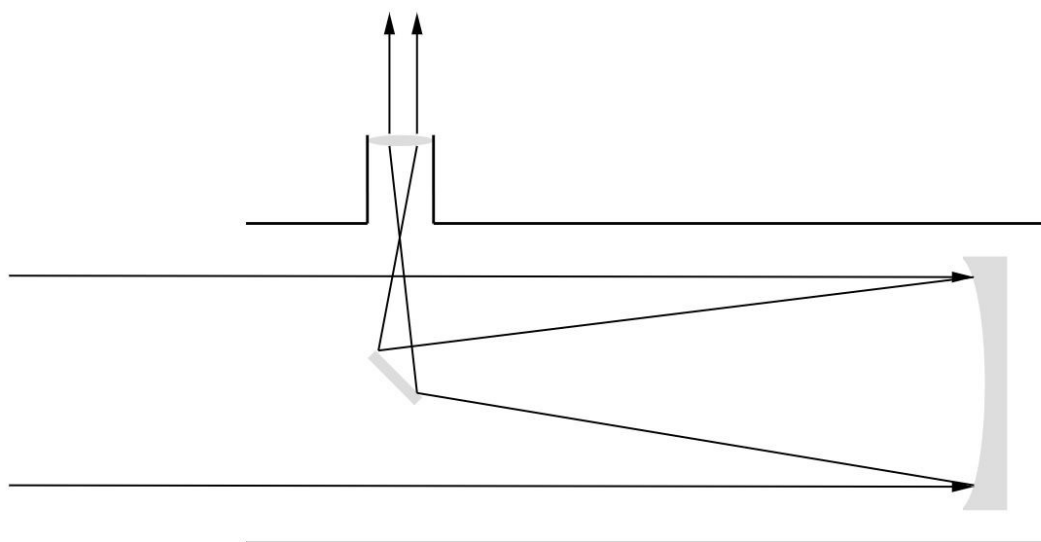
$$\text{f-broj} = F/D$$

Primjerice, za objektiv promjera 80 mm i žarišne daljine 1200 mm je

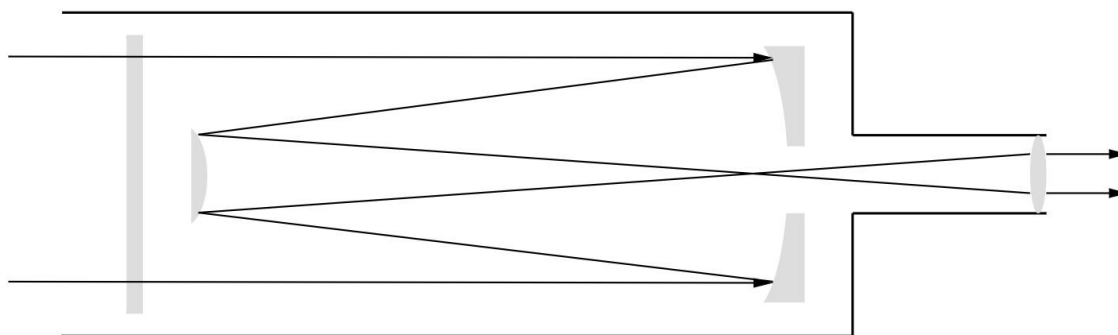
$$\text{f-broj} = 1200/80 = 15$$

ili, pisano na drugi način,  $F/15$ . Fotografi ovaj broj nazivaju zaslon (blenda) i ispuštaju oznaku  $F/$  ispred njega, pa tako  $F/8$  postaje jednostavno zaslon 8. Često puta naići ćete i na zapis 1:8 sa istim značenjem.

Prema tipu objektiva teleskopi se svrstavaju u tri grupe: refraktore, reflektore i mješovite. Sa teleskopom refraktorom smo se već upoznali. Kod njega je objektiv napravljen od jedne ili više leća. Kod reflektora je objektiv sastavljen od jednog ili više zrcala a mješoviti teleskopi imaju objekte koji su sastavljeni od kombinacije leća i zrcala.



**Slika 22:** Skica teleskopa sa zrcalom (gore), tzv. reflektora. Prikazan je najčešći pripadnik ove vrste teleskopa, koji se po svom otkrivaču naziva Newton-ov teleskop. Svjetlo u Newton-ov teleskop ulazi s lijeve strane i odbija se od glavnog zrcala prema njegovom žarištu. Malo ispred žarišta nalazi se maleno ravno zrcalo koje je postavljeno pod kutem od  $45^\circ$  prema osi teleskopa. Ono sliku prebacuje prema gore (u stranu izvan tubusa), gdje je smješten okular.



**Slika 23:** Skica mješovitog ili katadioptričkog tipa teleskopa, u ovom slučaju Schmidt-cassegrainovog teleskopa. Kod ovog tipa teleskopa svjetlo s lijeve strane prolazi kroz tzv. korekcionu ploču, koja podsjeća na stakleni prozor, odbija se od glavnog (ili primarnog) zrcala natrag prema pomoćnom (ili sekundarnom) zrcalu koje ga vraća natrag kroz rupu u središtu glavnog zrcala do žarišta, i dalje, do okulara. Ovakva konstrukcija omogućava znatno skraćivanje dužine cijevi teleskopa, pa on postaje znatno kraći, lakši i jednostavniji za rukovanje. Sličan, danas isto vrlo popularan tip teleskopa je tzv. Maksutov teleskop. On je slične konstrukcije, samo što umjesto korekcijske ploče naprijed ima jednu veliku udubljenu leću, tzv. maksutov korektor.

Osnovna i **najvažnija** funkcija teleskopa je da sakuplja svjetlo nebeskih objekata. Više sakupljenog svjetla znači da ćemo moći opažati objekte slabijeg sjaja, pa je jasno da je veći



objektiv bolji od manjeg. Objektiv promjera  $D$  milimetara sakuplja onoliko puta više svjetla koliko mu je puta površina veća od površine zjenice oka (promjer  $d$ ) što lako izračunamo iz omjera površina:

$$S=(D/d)^2$$

Promjer zjenice ljudskog oka priviknutog na tamu je oko 7 mm. On je kod svakog čovjeka drugačiji i uglavnom se kreće u granicama od 6 do 8 mm a kod osoba starijih od pedesetak godina može biti i manji od 5 mm. Uvrstimo li u gornju formulu za promjer zjenice prosječnu vrijednost od 7 mm, nalazimo

$$S=(D/7)^2$$

Ne zaboravimo da ovdje promjer objektiva također moramo izraziti u milimetrima. Ovaj omjer naziva se svjetlosna jačina teleskopa ( $S$ ). Uz njegovu pomoć možemo odrediti koliko slabe zvijezde ćemo moći opaziti nekim teleskopom. Ako objektiv teleskopa sakuplja  $S$  puta više svjetla od golog oka, onda ćemo njime moći vidjeti zvijezde toliko puta tamnije. Dijeljenjem sa 2,5, kako je to već opisano u poglavlju u skali zvjezdanih veličina, možemo odrediti kojoj razlici zvjezdanih veličina ( $\Delta m$ ) taj omjer odgovara. Sad se još sjetimo da prostim okom možemo opaziti zvijezde 6 zvjezdane veličine pa dolazimo do slijedeće formule:

$$m_g = 6 + \Delta m$$

gdje je  $\Delta m$  razlika zvjezdanih veličina koja odgovara svjetlosnoj snazi objektiva. U stvarnosti se ova, tzv. granična zvjezdana veličina, dostiže samo u tamnim, vedrim noćima bez mjesečine i to pri većim povećanjima, kad je zbog povećanja svjetlina noćnog neba maksimalno smanjena. U najboljim uvjetima moguće je opaziti i zvijezde slabijeg sjaja od onog koji predviđa ova formula. Tu veliku ulogu igraju optička kvaliteta objektiva i opažačko iskustvo, ali i mirnoća zraka (tzv. seeing) kod takvog opažanja. Iskusi opažači dobrim teleskopom kod čistog, tamnog neba daleko od grada mogu opaziti i zvijezde za oko 1,5 veličinu slabijeg sjaja od onog što ga ova formula predviđa. Tim, idealnim uvjetima promatranja odgovara formula

$$m_{gi} = 7.5 + \Delta m$$

koju je na osnovi mnogih opažanja teleskopima malog otvora odredio W.H. Steawenson još u 18. stoljeću.

Kod objekata koji nisu točkasti, npr. Mjesec i razne maglice, raspoloživo svjetlo je zbog povećanja rastegnuto na znatno veću površinu nego kad te objekte gledamo golim okom. Zbog toga je njihova slika znatno tamnija nego kad ih gledamo golim okom. Ne vjerujete? Usporedite svjetlinu Mjeseca gledanog golim okom i kroz teleskop, posebno kod većeg povećanja! Bez obzira na to, mnoge maglice možemo vidjeti teleskopom iako one golim okom nisu vidljive. I to zato jer je i sjaj noćnog neba u teleskopu jednako smanjen kao i sjaj maglice, pa je kontrast između maglice i neba ostao isti, a slika maglice je znatno veća i zato mnogo lakše uočljiva.

Druga važna funkcija teleskopa je povećanje. Povećavajući sliku nebeskih objekata, teleskop nam omogućava da na nebeskim objektima uočimo sitnije detalje nego što bismo to mogli golim okom. Povećanje teleskopa (P) lako izračunamo tako da žarišnu daljinu objektiva (F) podijelimo sa žarišnom daljinom okulara (f):

$$P = F/f$$

Ovdje u slučaju galilejevog teleskopa u račun uzimamo žarišnu daljinu okulara bez negativnog predznaka.

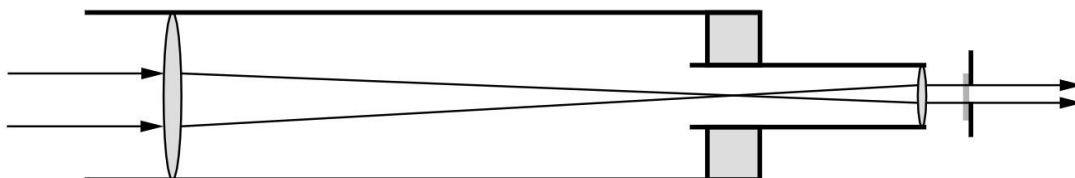


**Slika 24:** Ogibna slika zvijezde (lijevo) i bliske dvojni zvijezde na granici razlučivanja (desno).

Povećanje teleskopa se ne može mijenjati u proizvoljnim granicama. Ako je povećanje premalo, dolazi do gubitka svjetla i teleskop nije sasvim iskorišten. Ako pak pretjeramo sa povećanjem dobit ćemo tamne, razvodnjene slike bez detalja, a istaknut ćemo sve nesavršenosti optike i titranje zraka. Naime, zbog ogiba svjetla na rubu objektiva, objektiv nije u stanju točkasti izvor svjetla preslikati u idealnu točku, već je slika točkastog izvora maleni kružić konačnih dimenzija okružen sa nekoliko svjetlih prstenova koji su znatno slabijeg sjaja od središnjeg kružića. Veličina ovog kružića određuje veličinu najsitnijih detalja koje dani objektiv može pokazati u slici. Svaka točka predmeta se u slici zbog ogiba pretvori u jedan takav kružić pa slika cijelog objekta nastaje preklapanjem ogromnog broja malih kružića. Povećanje slike iznad granice kod koje ovi kružići postaju primjetni ne donosi ništa novih detalja, a svjetlina i oštrina slike se vrlo brzo smanjuju. Granice najvećeg korisnog povećanja ovise o promjeru objektiva i njegovoj kvaliteti. Srećom u najvećem broju slučajeva objektiv je zadovoljavajuće kvalitete tako da razlučivanje ograničavaju samo zakoni optike (ogib) i titranje zraka. Najmanji kutni razmak (R) dvije zvijezde istog sjaja, koje se zbog ogiba još mogu razdvojiti objektivom promjera D mm dan je tzv. Dawes-ovom formulom:

$$R = 120''/D[\text{mm}]$$

gdje je R kutni razmak u lučnim sekundama a D je promjer objektiva u mm. Ako dvije zvijezde nisu istog sjaja, razmak koji se još može razlučiti raste sa razlikom u sjaju između tih dviju zvijezda. Razlučivanje je za objekte malog kontrasta, primjerice detalje planeta i sl. često puta mnogo lošije nego što to ova formula predviđa.



**Slika 25:** Put svjetla u slučaju kad je zjenica oka (shematski prikazana zaslonom iza okulara) manja od izlaznog otvora teleskopa. Zjenica tada propušta samo dio svjetla koji prolazi kroz sredinu objektiva pa teleskop radi kao da mu je promjer objektiva znatno manji. Ovo se događa kad je povećanje teleskopa premaleno za njegov promjer objektiva.

Već smo rekli da se kod opažanja oko mora nalaziti u izlaznom otvoru teleskopa. Samo tada možemo vidjeti cijelo vidno polje odjednom i iskoristiti sve svjetlo koje ulazi kroz objektiv. Kod keplerovog teleskopa izlazni otvor lako možemo vidjeti ako teleskop okrenemo prema nekom svjetlom objektu, npr. danju prema nebu **svakako daleko od Sunca!**, pa iza okulara na malenoj udaljenosti držimo komad paus papira. Na njemu ćemo vidjeti maleni svijetli kružić koji čine zrake svjetla što izlaze iz teleskopa. Pomicanjem papira ka ili od okulara lako možemo naći položaj u kojem je taj kružić najmanji i najoštiji. Na taj smo način odredili gdje se iza okulara nalazi izlazni otvor i koliko je velik. Mjerenjem njegove veličine trokutom ili sličnim prikladnim mjerilom možemo odrediti povećanje teleskopa jer je veličina izlaznog otvora IO, jednaka omjeru promjera objektiva D i povećanja teleskopa P:

$$IO = D/P$$

Iz ove formule vidimo da se sa porastom povećanja izlazni otvor teleskopa smanjuje. To znači da se kod malih povećanja može dogoditi da je izlazni otvor teleskopa veći od zjenice oka pa dolazi do gubitka svjetla (slika 25.).

Upotrebiva ili korisna povećanja se dijele na mala, srednja i velika. Mala povećanja daju svijetle slike i velika vidna polja i koriste se za traženje objekata, promatranje kometa, maglica i sl. Kod ovih povećanja titranje zraka ne utječe na kvalitetu slike. Srednja povećanja koriste se za promatranje Mjeseca i planeta, dvojnih zvijezda, maglica malih dimenzija itd. Slika je kod ovih povećanja tamnija, a vidno polje manje. Titranje zraka primjetno je samo kad je izrazito veliko. Velika povećanja koriste se uglavnom za promatranje Mjeseca, planeta i bliskih dvojnih zvijezda, ako je atmosfera mirna. kod ovih povećanja vidno polje je malo,

slika je tamna i jako osjetljiva na titranje zraka. Granice između pojedinih vrsta povećanja nisu strogo postavljene. Premalim se povećanjima smatraju povećanja manja od

$$P_{\min} = D/7$$

jer je  $P_{\min}$  najmanje povećanje kod kojeg sve svjetlo što ga objektiv teleskopa sakupi uđe u oko (uz pretpostavku da je otvor zjenice zaista 7 mm!). U ovom računu  $D$  moramo uvrštavati u milimetrima! Kod povećanja manjih od  $P_{\min}$  izlazni otvor postaje veći od zjenice, pa se dio svjetla gubi i objektiv nije sasvim iskorišten. Kod ovog povećanja postizemo najveću moguću svjetlinu slike. Ona je jednaka svjetlini objekta gledanog golim okom, ako zanemarimo gubitke svjetla u instrumentu koji su uvijek prisutni.

Malim povećanjima smatraju se povećanja između  $P_{\min}$  i  $P_s$ , gdje je

$$P_s = D/3$$

U mala povećanja spada i tzv. normalno povećanje  $P_n$

$$P_n = D/5$$

koje se često koristi kod dvogleda. Srednja povećanja su ona između  $P_s$  i  $P_v$ , pri čemu je

$$P_v = D$$

$P_v$  je povećanje kod kojeg normalno oko može vidjeti sve detalje slike koje dani objektiv može pokazati, uz uvjet da je slika dovoljno svjetla za to. No, kako su objekti u astronomiji dosta tamni, pokazuje se da je za uočavanje najsitnijih detalja potrebno upotrijebiti i dva do tri puta veća povećanja. Ovakva povećanja nazivaju se velika povećanja i ona zauzimaju područje između  $P_v$  i  $P_{\max}$ .

$$P_{\max} = 3D$$

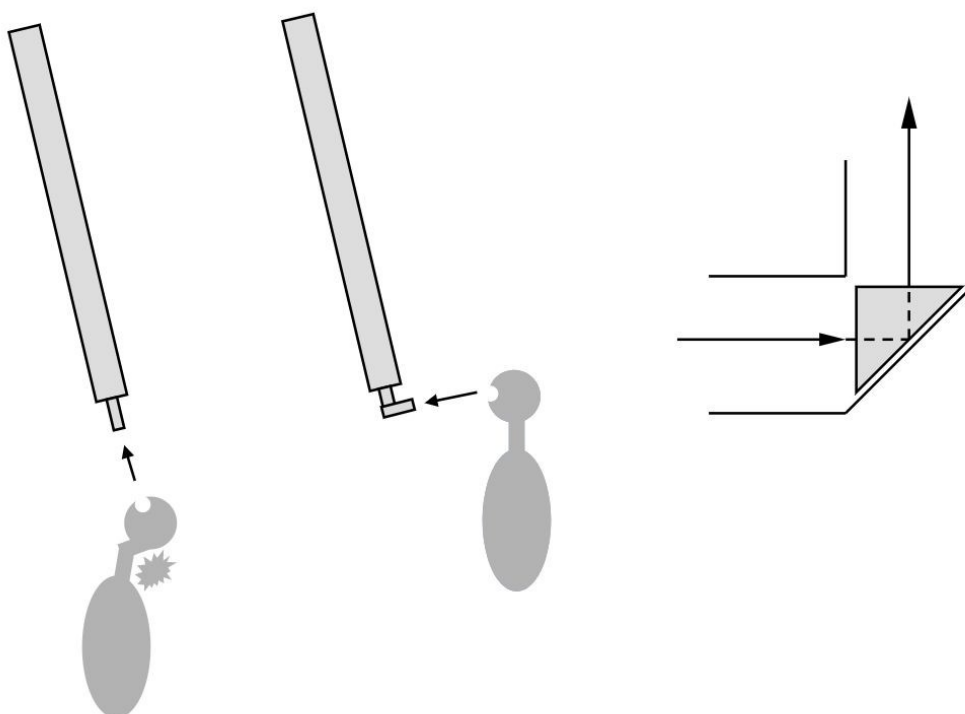
Još veća povećanja su prevelika, nekorisna, povećanja kod kojih je slika toliko tamna i neoštra da se ne može koristiti. U svim ovim formulama  $D$  je promjer objektiva teleskopa u mm.

Recimo na kraju nekoliko riječi o vidnom polju teleskopa. Vidno polje je dio neba koji vidimo u teleskopu. Kako su astronomski objekti na ogromnoj i obično nepoznatoj udaljenosti od nas, vidno polje se kao i sve druge veličine na nebeskom svodu mjeri kutem. Tako je promjer vidnog polja teleskopa kut koji zatvara dio neba vidljiv kroz njega. Ovaj kut naziva se i pravo vidno polje jer se radi o kutu na nebeskoj kugli. On je jednak kutu pod kojim taj dio neba vidimo golim okom. Isti taj dio nebeskog svoda gledan kroz teleskop nam zbog povećanja izgleda znatno veći. Da ne bi došlo do zabune, kut pod kojim vidimo vidno polje gledajući kroz teleskop naziva se prividno vidno polje. Između pravog vidnog polja (VP) i prividnog vidnog polja (PVP) postoji slijedeća veza:

$$PVP = VP \times P$$

gdje je  $P$  povećanje teleskopa. Prividno vidno polje karakteristika je samog okulara i ono je za dani okular uvijek isto bez obzira na povećanje koje taj okular na nekom teleskopu daje. Drugim riječima, ono je uvijek isto, bez obzira na koji teleskop taj okular stavimo. Prividno vidno polje se za jednostavni okular izrađen od jedne leće kreće oko  $20^\circ$ , za većinu okulara koji se koriste u astronomiji oko  $40\text{--}50^\circ$  a kod posebnih (i vrlo skupih) okulara ono može doseći i preko  $100^\circ$ . Kako je prividno vidno polje okulara ograničeno, jasno je da veće povećanje za sobom uvijek povlači manje pravo vidno polje. Zbog toga se za traženje objekata uvijek koristi najmanje povećanje sa kojim raspolažemo, i naravno, po mogućnosti, okular sa velikim prividnim vidnim poljem.

## Zenit-prizma

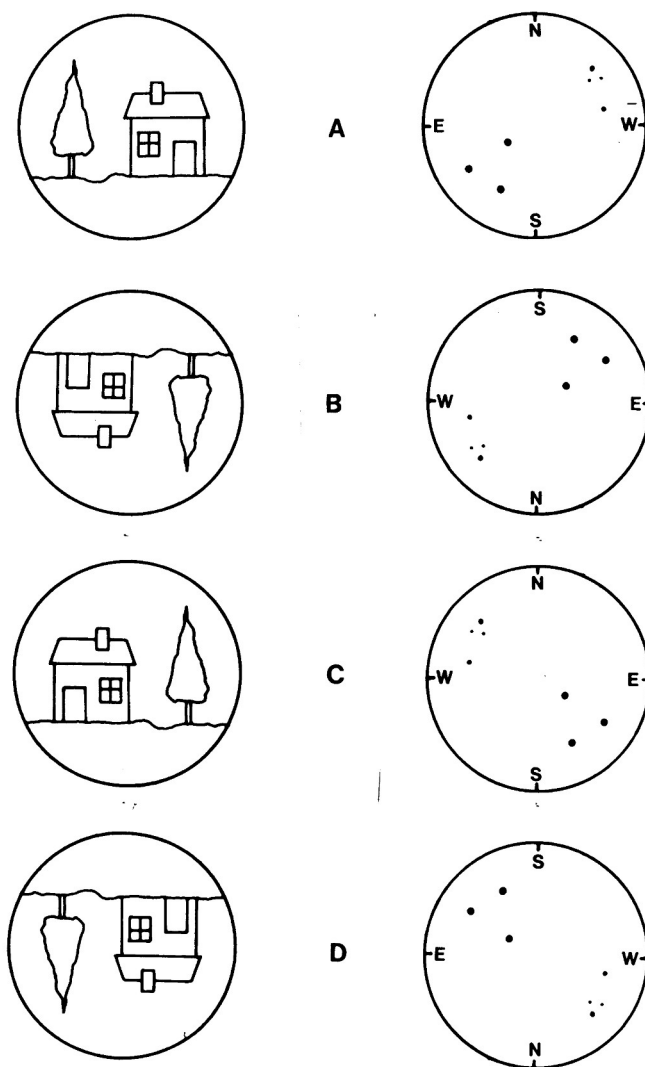


**Slika 26:** Opažanja u blizini zenita kroz refraktor bez (lijevo) i sa zenit-prizmom (sredina). Strelica pokazuje smjer u kojem moramo gledati kroz okular. Desno je prikazan shematski presjek zenit prizme. Kod nekih izvedbi, umjesto prizme u kućištu je smješteno ravno zrcalo. Danas je to sve češće slučaj, posebno kod zenit prizmi većih dimenzija (2" i više).

Kod svih vrsta teleskopa kod kojih se okular nalazi na donjoj strani teleskopske cijevi, opažanja u blizini zenita dovode opažača u vrlo neudoban položaj. Opažač se mora istovremeno sagnuti da bi dosegnuo nisko položeni okular i gledati gotovo okomito prema gore. Čak i vrlo gipki ljudi u tom neudobnom položaju ubrzo dobiju vratobolju i krstobolju, pa se kod takovih teleskopa koristi maleno pomagalo koje zaokreće smjer gledanja za  $90^\circ$  prema gore. Opažač sada, iako je još uvijek sagnut, gleda prema dolje u okular. Ovakvo opažanje je mnogo udobnije pa ovo malo pomagalo koje se naziva zenit-prizma spada u standardnu opremu refraktora i danas vrlo popularnih složenih teleskopa. Ona se umeće u okularnu cijev neposredno ispred okulara, a okular se onda umeće u nju. U njoj se obično nalazi malena staklena prizma koja skreće smjer svjetla za  $90^\circ$  i tako prebacuje sliku u mnogo povoljniji položaj za opažanje. U mnogim modernim zenit-prizmama umjesto prizme se nalazi zrcalo koje djeluje na isti način kao i prizma. Na tržištu se mogu naći i prilično skupe zenit-prizme sa tzv. krovnom prizmom koja ispravlja orijentaciju slike, no te su prizme prikladne samo za opažanja kod malih povećanja jer krovne prizme donekle kvare kvalitetu slike.

Recimo ovdje nekoliko riječi o tzv. anglo-saksonskim (američkim) mjerama za duljinu. Umjesto metara i centimetara oni koriste stope i palce. Ove su se mjere zadržale do danas za izražavanje promjera objektiva ali i standardnih promjera kućišta okulara. Tako najstariji okulari (danas ih praktički više nema) imaju promjer od 0,965" (" je oznaka za palac ili inč, koji iznosi 25,4 mm) ili 24,5 mm, većina jeftinijih okulara ima promjer od 1,25" (31,8 mm) a oni većeg vidnog polja su u kućištima promjera 2" (50,8 mm). Tako ćete i u našim krajevima često nailaziti na promjere kućišta okulara u palcima, iako su žarišne daljine uvijek izražene u milimetrima, čak i u Engleskoj ili Americi, a slično je i sa promjerima objektiva. I na kraju, bez želje da zakompliciram, navedimo da su standardni promjeri mikroskopskih okulara 23,2 mm, a ponekad, kod novijih mikroskopa i 34 mm. Ako naiđete na mikroskopske okulare, ova informacija može biti od koristi, jer se moderni mikroskopski okulari itekako mogu koristiti, barem za manja povećanja i kod instrumenata koji nemaju F-broj manji od 7 ili 8. Razliku u promjeru možete riješiti namatanjem krep-trake na okular ili izradom adaptera od motanog papira, kako je to opisano u dijelu posvećenom izradi jednostavnih teleskopa.

## Orijentacija slike u teleskopu



**Slika 27:** Orijentacija slike kod raznih tipova teleskopa. Kod dvogleda (A) je slika "normalna" tj. iste orijentacije kao i kod gledanja golim okom. Kod refraktora i raznih vrsta cassegrainovih teleskopa (B) slika je okrenuta naglavačke. Ako se tim teleskopima doda zenit-prizma (C), dobije se uspravna slika sa zrcaljenom lijevom i desnom stranom. Istu orijentaciju slike daje i newtonov teleskop ako mu je okularna cijev u vertikalnoj ravnini. Ako je kod newtonovog teleskopa okularna cijev u horizontalnoj ravnini (D), slika je zrcaljena po visini. Istu orijentaciju slike imaju i refraktori ako se zenit-prizma postavi tako da sliku baca u stranu a ne prema gore. Pokušamo li neki astronomski instrument koristiti danju za promatranje pejzaža ili neku sličnu namjenu, prilično ćemo se iznenaditi. Slika je okrenuta naglavačke, ili još i gore, zrcaljena po visini ili po širini! Astronomski instrumenti u pravilu ne vode računa o orijentaciji slike iz jednostavnog razloga što dodatni optički elementi potrebni za ispravljanje orijentacije slike izazivaju gubitak svjetla a neki puta i kvalitete slike. Uz to ti dodatni elementi poprilično i koštaju. Iako se danas kvalitetnim optičkim elementima i antirefleksnim slojevima mogu ovi gubici znatno smanjiti, oni se ipak ne mogu potpuno ukloniti. U astronomiji, gdje se uvijek radi sa

vrlo malo svjetla i ovi mali gubitci mogu znatno utjecati na konačnu kvalitetu i svjetlinu slike pa se zato izbjegavaju. To što slika nije ispravno orijentirana ne predstavlja poseban problem ako je poznat način na koji određeni instrument sliku izokreće. Drugim riječima, kod bilježenja opažanja potrebno je zabilježiti i orijentaciju slike instrumenta kojim su promatranja vršena pa će sve biti u redu. Ako na refraktoru ili Cassegrainovm tipu teleskopa upotrijebimo krovnu prizmu, slika će biti ispravne orijentacije (slučaj A).

Da bi stvari bile jasnije, pogledajmo malo gornju sliku. Prva sličica (A) prikazuje ispravno orijentiranu sliku. Ostale sličice pokazuju orijentaciju slike koju daju instrumenti na azimutnoj montaži. Uspravnu sliku (A) daju dvogledi i dalekozori namijenjeni turistima, lovcima, ljubiteljima prirode i sl. Sličica (B) pokazuje kako isti objekt vidi astronomski dalekozor, u ovom slučaju refraktor. Istu orijentaciju slike daje i cassegrainov tip teleskopa. Ako na refraktoru koristimo zenit prizmu, što je najčešće slučaj, orijentacija slike je drugačija. Ako je zenit prizma uspravna (C), slika će biti uspravna ali će joj lijeva i desna strana biti zamijenjene. Istu orijentaciju slike ima Newtonov tip teleskopa reflektora ako mu je okularni dio postavljen uspravno. Ako je zenit prizma postavljena vodoravno, odn. ako tako stoji okularni dio Newtonovog teleskopa, lijeva i desna strana slike bit će ispravno prikazane, ali će gornja i donja strana biti zamijenjene (D).

Kod paralaktički montiranih instrumenata smjerovi u vidnom polju ovise o položaju vidnog polja na nebeskoj kugli. Tu smjerovi gore-dolje i lijevo-desno nemaju mnogo smisla već se koriste strane svijeta. Tako je istočna strana vidnog polja ona na kojoj zvijezde nošene dnevnim gibanjem ulaze u vidno polje, zapadna ona na kojoj ga napuštaju, sjeverna ona koja je najbliža sjevernom nebeskom polu i južna ona koja je najbliža južnom nebeskom polu. Trenutna orijentacija slike lako se odredi u toku samog opažanja ako pratimo kako dnevna rotacija nosi zvijezde kroz vidno polje. Zvijezde ulaze na istočnoj strani vidnog polja a napuštaju ga na zapadnoj. Smjer sjevera je na onoj strani na kojoj u vidno polje ulaze nove zvijezde kad teleskop lagano gurnemo prema Sjevernjači. Ista metoda određivanja orijentacije slike koristi se i kod azimutno montiranih instrumenata ako opažanje zahtijeva bilježenje orijentacije slike (npr. kod crtanja planeta, skiciranja dvojnih zvijezda i sl.).

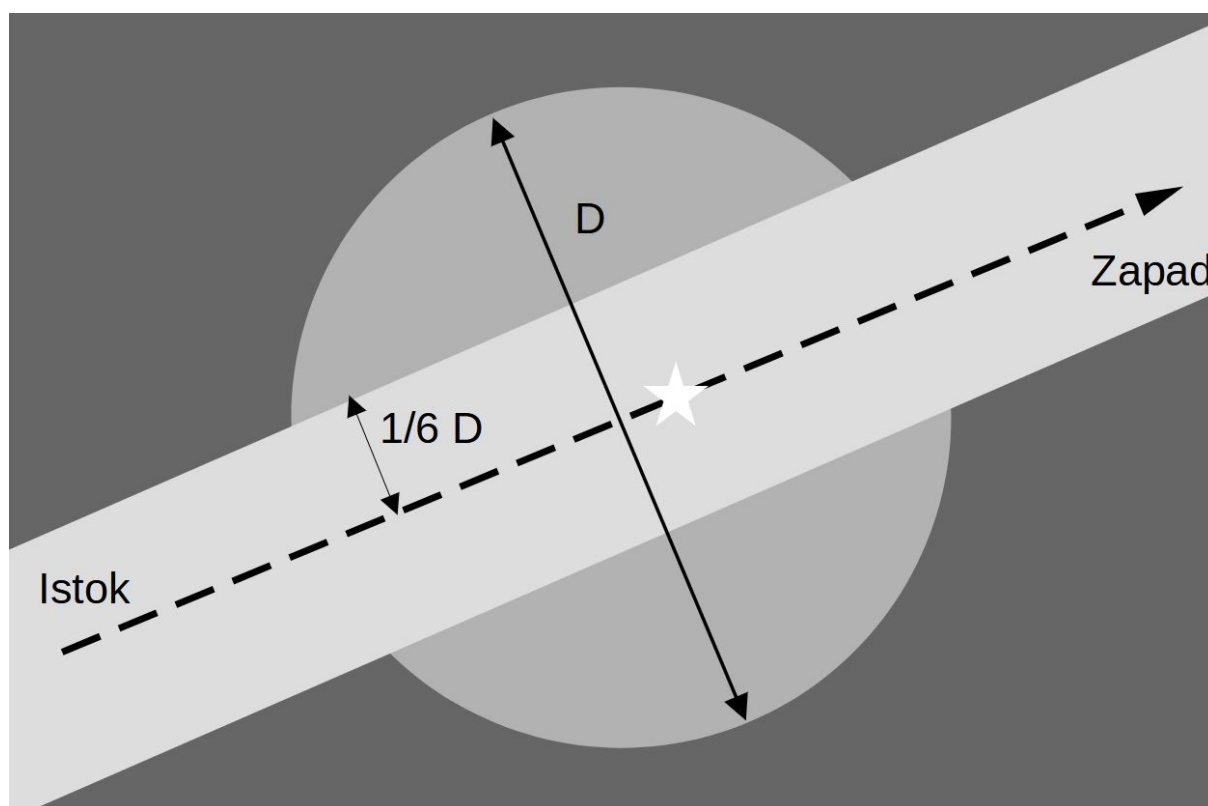
## Mjerenje vidnog polja i povećanja teleskopa

Vrlo često smo u prilici služiti se astronomskim instrumentima za koje neznamo osnovne podatke: otvor objektiva, povećanje i vidno polje. I dok otvor objektiva vrlo jednostavno možemo izmjeriti nekim mjerilom, povećanje i vidno polje nam ostaje nepoznato. Na sreću, ovdje nam pomažu zakoni optike uz pomoć kojih je ova mjerenja moguće provesti na jednostavan način. Da bismo odredili povećanje, uperimo naš instrument u danje nebo, **svakako daleko od Sunca!** Iza okulara stavimo komadić paus papira ili mutnog stakla, na kojem ćemo vidjeti manje ili više oštri svijetli krug što ga čine zrake svjetla koje izlaze iz okulara. Papir pomikemo tako dugo dok ne nađemo položaj u kojem je taj kružić najmanji i najoštriji. Ovaj kružić naziva se izlazni otvor. Kroz njega iz teleskopa izlazi svjetlo koje je kroz objektiv u njega ušlo. Prislonimo li na naš papir neko mjerilo, možemo uz malo pažnje



izmjeriti promjer ovog kružića s točnošću od nekoliko desetinki milimetra. Nakon toga povećanje lako izračunamo tako da podijelimo promjer objektiva sa promjerom izlaznog otvora. Pri tome moramo naravno paziti da promjer objektiva i promjer izlaznog otvora izrazimo u istim jedinicama, npr. milimetrima. Uz pažljiv rad, može se na ovaj način odrediti povećanje s točnošću od desetak posto, s time da će greške biti veće kod većih povećanja jer je izlazni otvor manji pa ga je teže točno izmjeriti. Točnost možemo malo poboljšati tako da mjerenje ponovimo nekoliko puta, pa kao konačni rezultat uzmemo srednju vrijednost dobivenih rezultata.

Pravo vidno polje možemo najjednostavnije izmjeriti tako da instrumentom promatramo prolaz neke sjajnije zvijezde kroz vidno polje. Zvijezda treba biti u blizini nebeskog ekvatora (dovoljno je da joj deklinacija bude manja od  $15^\circ$ , na obje strane nebeskog ekvatora). Ako izmjerimo koliko vremena je potrebno da zvijezda prijeđe cijelo vidno polje, od jednog njegovog ruba do drugog, možemo iz tog vremena izračunati pravo vidno polje instrumenta. Potrebno je naravno, da zvijezda prođe kroz sredinu vidnog polja, ili će rezultat biti manji od stvarnog.



**Slika 28:** Da bi mjerenje vidnog polja bilo dovoljno točno, potrebno je da zvijezda prođe što je moguće bliže njegovom središtu. Potrebna točnost postiže se ako je zvijezda prošla na manje od  $1/6$  promjera vidnog polja od središta (unutar svijetle zone).

Mjerenje se vrši tako da zvijezdu dovedemo u vidno polje instrumenta. Zbog rotacije nebeskog svoda ona će se gibati kroz vidno polje. Smjer ovog gibanja naziva se smjer

dnevnog gibanja, pri čemu se zvijezda giba od istoka prema zapadu. I inače se kod svih promatranja smjer istoka i zapada određuje promatranjem dnevnog gibanja, jer se ovi smjerovi mijenjaju od točke do točke nebeske kugle. Kad smo uočili i zapamtili smjer dnevnog gibanja zvijezde, instrument namjestimo tako da se zvijezda nađe izvan vidnog polja na istočnoj strani. Ovdje treba malo vježbe jer je potrebno procijeniti smjer dnevnog gibanja i instrument namjestiti tako da zvijezda prođe kroz sredinu vidnog polja. Tu je zgodno odabrati zvijezdu u blizini meridijana jer je tada smjer njenog dnevnog gibanja praktički horizontalan pa nam je namještanje olakšano. Kad smo zvijezdu smjestili na željeno mjesto izvan vidnog polja, čekamo da se ona zbog dnevnog gibanja pojavi na rubu vidnog polja. U trenutku kad se pojavi, počnemo mjeriti vrijeme koje je potrebno da ona prođe preko cijelog vidnog polja. Mjerenje završavamo u trenutku kad zvijezda nestane iza zapadnog ruba vidnog polja. Za mjerenje vremena možemo koristiti zaporni sat ili bilo koji drugi sat koji pokazuje sekunde, jer nam ovdje točnost mjerenja bolja od jedne sekunde nije potrebna. Ako prilikom mjerenja primijetimo da zvijezda prolazi daleko od sredine vidnog polja, moramo cijeli postupak ponoviti. Ne trebamo li pretjeranu točnost, dovoljno je da zvijezda prođe pored središta vidnog polja za manje od oko  $1/6$  njegovog promjera. Pravo vidno polje sad nalazimo po formuli

pravo vidno polje (u lučnim minutama) = vrijeme prolaza zvijezde u sekundama/4

Napomenimo na kraju još samo to, da je kod manjih povećanja potrebno biti strpljiv jer prolaz zvijezde kroz vidno polje može trajati i nekoliko desetaka minuta!

Kod većih povećanja, i ako nam nije potrebna velika točnost, možemo se poslužiti Mjesecom. Jednostavno ga pogledajmo kroz teleskop i ocijenimo koji dio vidnog polja zauzima njegov disk, odnosno, ako je vidno polje manje od njega, koji dio mjesečevog diska vidimo u vidnom polju. Kako je promjer mjesečevog diska oko  $30'$ , možemo lako na ovaj način prilično točno (sa pogreškom od dvadesetak posto) ocijeniti veličinu vidnog polja.

## Nalaženje slabih objekata

Želimo li opažati objekt vidljiv golim okom, dovoljno je nanišani uz cijev teleskopa da bi ga se uz malo pomicanja teleskopa amo-tamo smjestilo u vidno polje. Međutim, radi li se o objektu slabijeg sjaja, javljaju se problemi. Vidno polje teleskopa vrlo je malo, često puta manje od promjera mjesečevog diska. Tako na primjer, mali teleskop sa jednostavnim okularima čije se prividno vidno polje kreće oko  $40^\circ$ , ima u najboljem slučaju vidno polje od nekoliko stupnjeva.

Kod većih povećanja vidno polje postaje sve manje i manje, pa kako najmanje povećanje koje se na nekom teleskopu može koristiti raste sa otvorom objektiva tog teleskopa, bit će nam jasno da problemi traženja slabih objekata brzo rastu sa veličinom teleskopa. Na većini teleskopa zbog toga je montiran dodatni mali teleskop koji ima malo povećanje i veliko vidno polje. On je namješten tako da mu se sredina vidnog polja poklapa sa vidnim poljem teleskopa na koji je montiran. Sredina vidnog polja često je označena nitnim križem ili

kružićem. Ovaj mali teleskop naziva se tražilo. Tipično tražilo ima otvor objektiva od 30 mm i povećanje između 6 i 10 puta, pa mu je vidno polje 4 do 6 stupnjeva, što je znatno više od vidnog polja teleskopa. Drugim riječima, u vidnom polju tražila vidi se nekoliko desetaka puta veća površina neba od one u vidnom polju samog teleskopa, pa je traženje objekata znatno olakšano.

**Tablica 11:** Pravo vidno polje teleskopa u ovisnosti o povećanju i o prividnom vidnom polju okulara.

povećanje	pravo vidno polje za prividno vidno polje okulara od			
	30°	40°	50°	60°
10	3°	4°	5°	6°
15	2°	2° 40'	3° 20'	4°
20	1° 30'	2°	2° 30'	3°
30	1°	1° 20'	1° 40'	2°
50	36'	48'	1°	1° 12'
75	24'	32'	40'	48'
100	18'	24'	30'	36'
150	12'	16'	20'	24'
200	9'	12'	15'	18'
300	6'	8'	10'	12'

Ako je objekt kojeg želimo naći vidljiv prostim okom, upotreba tražila vrlo je jednostavna. Teleskop prvo grubo usmjerimo prema objektu nišanjem prostim okom uz njegovu cijev, ili na neki sličan način. Pošto je vidno polje tražila dosta veliko, objekt će se uglavnom odmah vidjeti u vidnom polju tražila, pa ga laganim pomicanjem teleskopa možemo dovesti u njegov centar. Pošto teleskop i tražilo gledaju u istom smjeru, objekt će se sada pojaviti i negdje u vidnom polju teleskopa (koristimo malo povećanje!). Sada lako dovedemo objekt u središte vidnog polja teleskopa i prijedemo na povećanje sa kojim ga želimo promatrati. U slučaju da se objekt nakon grubog nišanja ne pojavi u vidnom polju tražila, znači da smo pogriješili pri usmjeravanju, pa postupak nišanja treba ponoviti. Nakon malo vježbe ovakve greške postat će vrlo rijetke.

Ako objekt kojeg želimo promatrati nije vidljiv prostim okom, njegovo nalaženje postaje složenije. Prvo ga moramo naći u zvjezdanom atlasu ili na nekoj karti koja pokazuje njegov položaj. Takve karte često se objavljuju u astronomskim časopisima ili godišnjacima i prikazuju samo najbližu okolinu objekta. Prednost ovakvih malih karata je ta da obično prikazuju zvijezde slabijeg sjaja od većine zvjezdanih atlasa. U pravilu su u takove karte ucrtane zvijezde čiji sjaj je jednak ili nešto slabiji od objekta čiji položaj prikazuju.

Kod korištenja ovakvih karata vrlo je korisno iz komadića kartona izrezati kvadratić sa okruglom rupom u sredini. Promjer rupe odredimo tako da odgovara vidnom polju tražila (ili najmanjeg povećanja teleskopa) u mjerilu karte. Ako karta za koju izrađujemo takovu masku

nema nacrtano mjerilo, koristimo skalu deklinacije sa koje uzimamo odgovarajući broj stupnjeva kao promjer rupe. Stavimo li tako izrađenu masku na zvjezdanu kartu, ona će zakloniti sve zvijezde osim onih koje bi se vidjele u vidnom polju tražila usmjerenog u to područje neba. Pomoću ovog korisnog pomagala možemo na karti vidjeti koje će sjajnije zvijezde biti u istom vidnom polju sa objektom koji tražimo. Pri tome treba uzeti u obzir da neke tamnije zvijezde ni u tražilu nećemo moći vidjeti, pa je zato dobro promatranjem unaprijed odrediti do koje zvjezdane veličine naše tražilo u stvari "vidi" u prosječno vedroj noći. Pamteći relativni položaj objekta prema tim zvijezdama i dovodeći tu točku na nebu u sredinu vidnog polja tražila ubrzo ćemo naći traženi objekt. Ključ uspjeha korištenja ove metode je vježba, pa ćemo sigurno nakon prvih nespornih pokušaja biti nagrađeni za naš trud bržim nalaženjem željenih objekata.

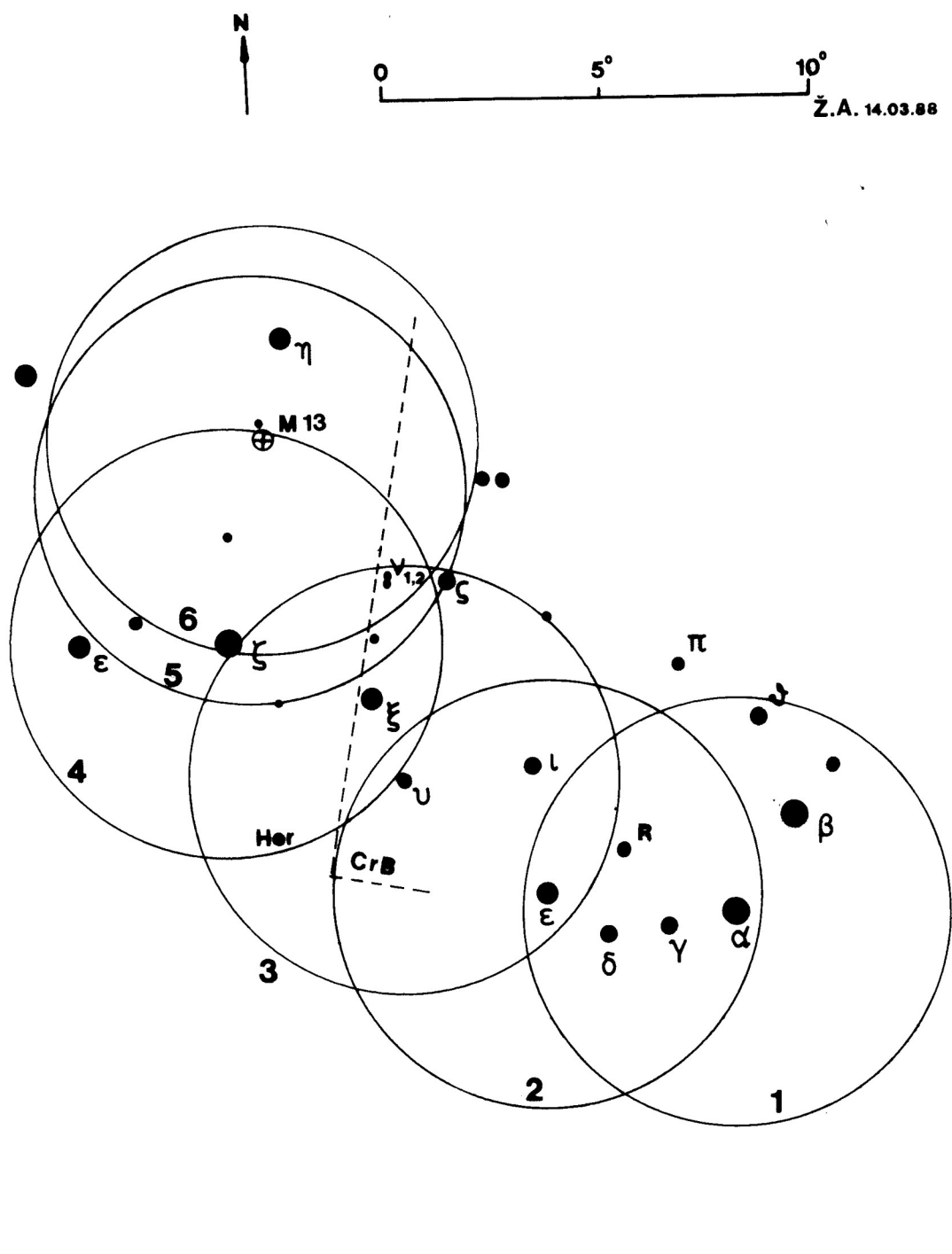
Često puta se nažalost ustanovi da se u vidnom polju tražila uperenog prema objektu ne nalazi niti jedna sjajnija zvijezda koja bi nam mogla poslužiti kao vodilja za nalaženje objekta. U tom slučaju traženje je teže i dugotrajnije i vrši se metodom skoka sa zvijezde na zvijezdu. Pri tome na karti prvo nađemo najbližu sjajnu zvijezdu, koju možemo vidjeti prostim okom. Dobro je da ona bude oko 4 zvjezdane veličine ili sjajnija, da bismo je mogli vidjeti prostim okom i kad uvjeti za promatranje nisu idealni. Koristeći našu masku, sad planiramo skok tražilom sa ove sjajne zvijezde u područje neba bliže našem objektu. Potrebno je naći takovo područje u kojem se nalazi nekoliko zvijezda koje ćemo lako vidjeti i prepoznati u tražilu. Pošto tražilom možemo vidjeti zvijezde slabijeg sjaja, ove zvijezde mogu biti tamnije, što povećava broj zvijezda koje su nam na raspolaganju za traženje. Dobro je ipak da one ne budu previše tamne (6-7 veličine za malo tražilo) kako bismo ih lako uočili. Kad smo našli pogodnu grupu zvijezda, maskom dalje tražimo iduću grupicu u smjeru objekta kojeg tražimo. Ovaj postupak ponavljamo tako dugo dok ne nađemo vidno polje unutar kojeg će se nalaziti naš objekt. Neki puta se u zadnjim koracima traženja mora prijeći na teleskop jer ne možemo naći zvijezde dovoljno sjajne da bi se vidjele u tražilu. Kad smo ovu našu šetnju nebom dobro proučili i zabilježili na karti, ili je zapamtili, možemo navečer potražiti objekt na nebu. Pri tome treba obratiti pažnju na to da orijentacija na karti nije ista kao i ona na nebu, jer se smjerovi na nebu mijenjaju tokom rotacije nebeskog svoda, pa se moramo orijentirati prema položaju sjajnijih zvijezda. Treba također uzeti u obzir da neka tražila okreću sliku (tražila tipa teleskopa refraktora bez dodatnih optičkih elemenata), dok neka tražila samo zamjenjuju lijevo-desno (tražila sa zenit-prizmom i sl.). Ovo moramo znati za svoje tražilo. Ako tražilo zaokreće sliku, moramo našu kartu neba okrenuti za  $180^\circ$  da bi smo dobili izgled vidnog polja u tražilu, ali ako tražilo samo zamjenjuje lijevo i desno, kartu ne možemo zaokretanjem dovesti u položaj koji prikazuje izgled neba u tražilu. Tu je jedina pomoć da kartu prosvijetlimo jakim izvorom svjetla i da je gledano sa zadnje strane, ili da dio koji nas zanima precrtamo na prozirni papir pa da onda njega okrenemo i gledamo sa zadnje strane. Koristimo li umjesto atlasa neba neki računalni program za prikaz karata neba, bit će nam lakše jer većina tih programa može zrcaliti i zaokretati karte po našoj želji. Kod korištenja uz teleskop, štampane su karte praktičnije i jednostavnije za upotrebu. koristimo li računalo, možemo si unaprijed otisnuti potrebne karte štampačem. prednost je tu da većina programa omogućava i tiskanje zrcaljenih ili rotiranih karata, što nam često puta baš treba.

S druge strane, upotreba računala za vrijeme samog opažanja pokazala se neprikladnom jer svjetlo ekrana gotovo trenutno uništava prilagodbu oka na tamu, čak i kad se koriste tzv.

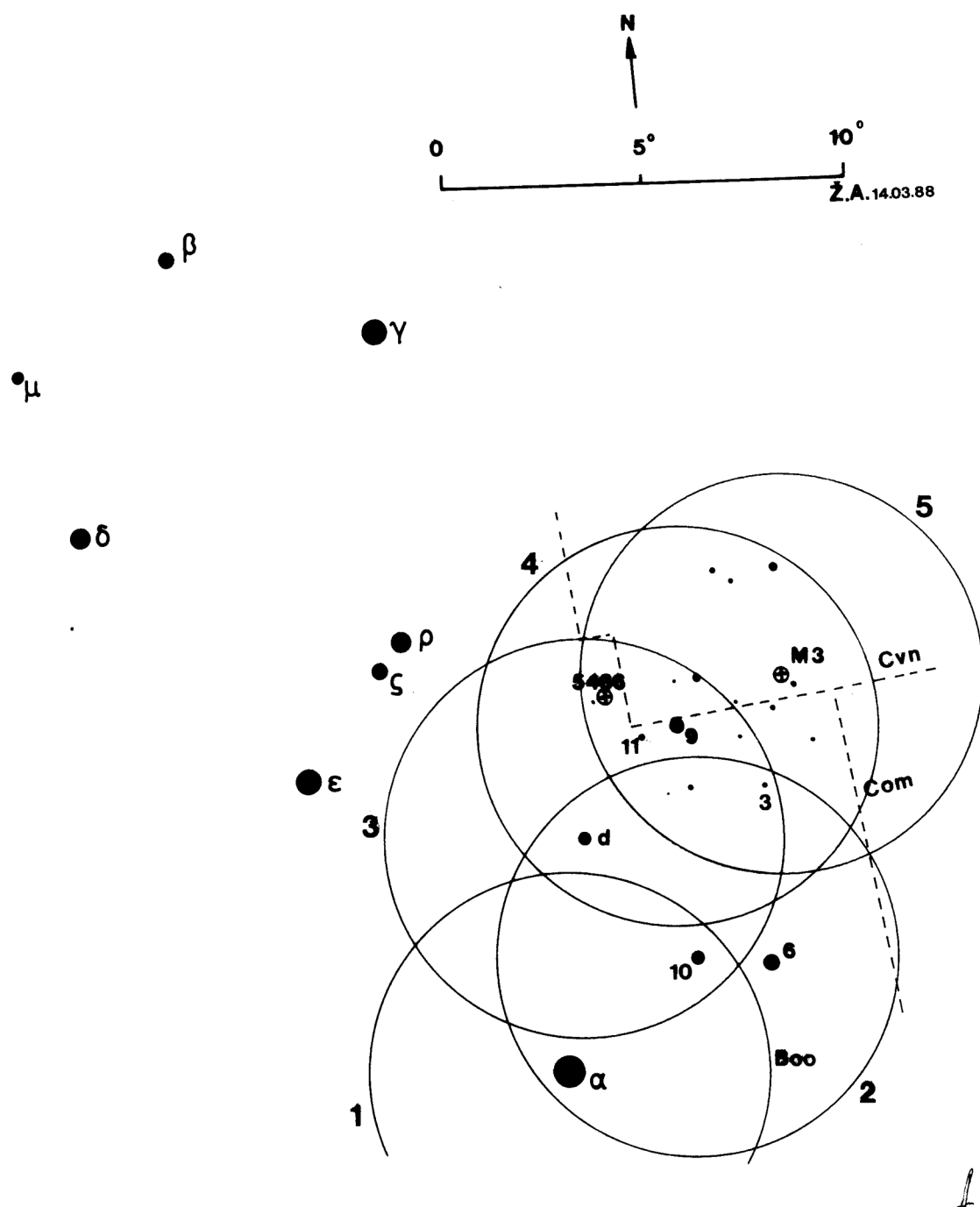
crveni zaslone koje neki računalni programi nude. Takvo je barem moje iskustvo, ali vi slobodno probajte sami. Pogotovo ako se radi o opažanju Mjeseca ili sjajnijih planeta.

Kod traženja objekta ovom metodom treba još kartu orijentirati prema stvarnom položaju zvijezda u tom trenutku. Sve ovo lako može zbuniti promatrača pa zato za rad metodom skoka sa zvijezde na zvijezdu treba dosta vježbe, ali je ona usprkos toga ipak najjednostavnija i amaterima najpristupačnija metoda nalaženja slabih objekata na nebeskom svodu.

Na slijedećoj stranici nalazi se karta za nalaženje kuglastog skupa M 13 u Herkulu metodom skoka sa zvijezde na zvijezdu. Karta je rađena za tražilo sa vidnim poljem od  $10^\circ$ . Ovo vidno polje otprilike odgovara malim tražilima i dvogledima povećanja oko 6 puta (npr. dvogledi 6x30 i sl.). Traženje počinje od zvijezda Sjeverne krune. Prvo u tražilu nađemo  $\alpha$  Sjeverne krune i dovedemo je u sredinu vidnog polja (korak 1 na slici). Ako smo to ispravno napravili, na rubu vidnog polja tražila pojavit će se zvijezda  $\varepsilon$  Sjeverne krune. U idućem koraku dovedemo ovu zvijezdu u središte vidnog polja tražila (krug br. 2 na slici). U vidno polje sad su nam ušle zvijezde  $\iota, \upsilon$  i  $\xi$  Sjeverne krune, pa zvijezdu  $\upsilon$  dovedemo u sredinu vidnog polja (3). Na samom rubu vidnog polja sad se pojavljuju zvijezde  $\nu_{1,2}$ ,  $\sigma$  i  $\zeta$  Herkula. Nakon što smo u sredinu vidnog polja doveli  $\zeta$  Herkula, laganim pomicanjem teleskopa u smjeru okomitom na spojnicu  $\varepsilon$  i  $\chi$  Herkula dovedemo  $\eta$  Herkula u vidno polje. Sad već i u tražilu moramo vidjeti kuglasti skup M 13 koji se nalazi na oko  $1/3$  puta od  $\eta$  do  $\zeta$  Herkula. Potrebno je još samo da ga dovedemo u sredinu vidnog polja tražila i pogledamo ga kroz teleskop.



**Slika 29:** Karta za nalaženje kuglastog skupa M 13 metodom skoka sa zvijezde na zvijezdu.



**Slika 30:** Za one koji su uspješno pronašli M 13, evo i karte za traženje kuglastog skupa M 3 u Lovačkim psima. Traženje počinje od najsajnije zvijezde sjeverne nebeske polutke, Arktura, a dalje vježbajte sami!

## OPAŽANJE NEBESKIH OBJEKATA

### Sunce

Osnovni podaci o Suncu	
promjer	1 390 000 km
udaljenost od Zemlje	
srednja	149 600 000 km
najmanja	147 102 000 km
najveća	152 098 000 km
prividni promjer	
srednji	32'
najmanji	31,5'
najveći	32,5'
masa	330 000 zemljinih
srednja gustoća	1,41 g/cm <sup>3</sup>
period rotacije	24,6 dana
nagib osi rotacije prema ekliptici	7,25°
prividna zvjezdana veličina	-26,8

Sunce, nama najbliža zvijezda, često se puta nepravedno zanemaruje kao objekt opažanja. No to ni u kom slučaju ne bi trebalo biti tako. Kao prvo, Sunce je na nebeskom svodu danju pa mnogi problemi vezani uz noćna opažanja ne postoje. Pored toga Sunce je uz Mjesec jedan od najvećih nebeskih objekata pa već i najmanji instrumenti mogu na njemu otkriti mnoštvo zanimljivih pojava. Dapače, već i golim okom mogu se na njemu ponekad opaziti velike pjege o čemu najrječitije svjedoče zapisi starih kineza! No, Sunce je izuzetno sjajno. **U SUNCE SE NI U KOJEM SLUČAJU NE SMIJE DIREKTNO GLEDATI GOLIM OKOM ILI BILO KOJIM INSTRUMENTOM KOJI NIJE POSEBNO PRIPREMLJEN ZA TU SVRHU!** Već i kratkotrajno direktno gledanje u Sunce ili kratak pogled kroz dvogled može izazvati trajna oštećenja vida ili potpuno sljepilo. Opažanju Sunca zato treba pristupiti promišljeno, poštujući sve mjere opreza.



Gornje pravilo ima jedan izuzetak: neposredno prije zalaska, ili odmah nakon izlaska Sunca kod **normalnih** atmosferskih uvjeta je svjetlo Sunca mnogostruko oslabljeno prolaskom kroz debeli sloj atmosfere. Tada do nas dolazi samo jako oslabljeno crveno svjetlo i ako osjetimo da u takav crveni disk Sunca možemo gledati bez napora, slobodno možemo ispratiti Sunce u njegovom zalasku za obzor ili ga ujutro dočekati u trenutku izlaska. To je način na koji su i stari kinezi zamijetili da se na disku Sunca povremeno pojavljuju tamne točke za koje mi danas znamo da su sunčeve pjege. Čim se donji rub Sunca izdigne iznad obzora ili sve dok kod zalaska još nije dotaknuo obzor, ovakvo opažanje treba prekinuti. Ovo vrijedi samo u slučaju obzora koji nije povišen, npr. kod zalaska Sunca u more. Nismo li na moru, treba biti vrlo oprezan, jer reljef brda u daljini može znatno povisiti liniju obzora pa je Sunce kod zalaza znatno sjajnije nego što bi to inače bilo. Dakle oprez! **ČIM OSJETIMO DA NAM GLEDANJE U SUNCE NA ZALASKU PRETSTAVLJA NAPOR, ODMAH PREKINIMO S GLEDANJEM!** Slično, moguće je da magla ili tanki oblaci toliko priguše sunčevo svjetlo da je u njega moguće gledati i kad je visoko na nebeskom svodu. I u tom slučaju mora se poštivati gornje pravilo: čim nam zbog blještavila gledanje postane teško, odmah ga treba prekinuti.

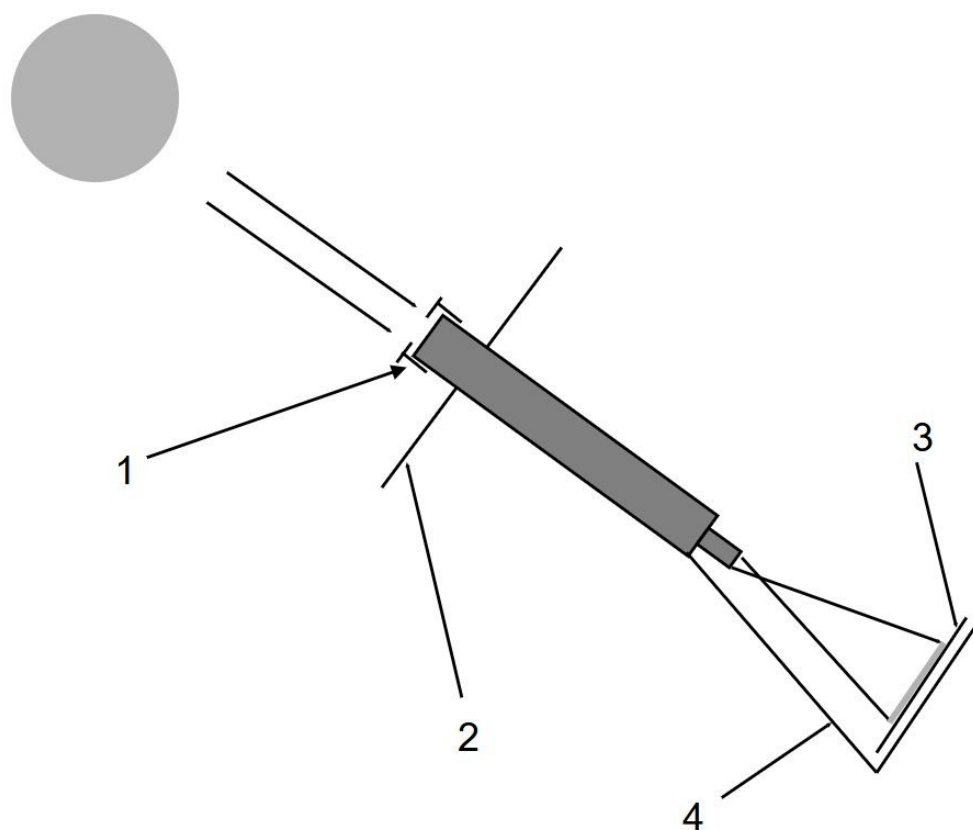
Za opažanje Sunca postoje posebni filteri. Jedina sigurna zamjena za njih su zaštitni filteri koje koriste varioci. Svakako treba nabaviti najtamniji varilački filter koji možemo dobiti. **NE KORISTITE ZA GLEDANJE SUNCA RAZNE PRIRUČNE FILTERE KAO ŠTO SU ZAČAĐENO STAKLO, RAZVIJENI FILMOVI ILI SREBRNA ZRCALA!** Mnogi su od njih vrlo opasni iako nam se čini da kroz njih možemo gledati u Sunce bez napora. No oni propuštaju nevidljivo toplinsko ili ultraljubičasto zračenje koje je vrlo štetno za oko, bez obzira na to što ga mi ne vidimo.

Želite li dakle povremeno pokušati pogledati Sunce **golim okom**, nabavite najtamniji filter za varioce. Njegova je cijena zanemariva u usporedbi sa zaštitom koju on pruža. Uspijete li opaziti neku pjegu, svakako je pratite iz dana u dan i pokušajte odrediti period rotacije Sunca!

Za opažanje Sunca bilo kojim optičkim instrumentom postoje **SAMO DVA SIGURNA NAČINA**. Prvi je upotreba specijalnih filtera koji se montiraju **ISKLJUČIVO ISPRED OBJEKTIVA** instrumenta. Imate li slučajno uz vaš teleskop filter za Sunce koji se stavlja ispred ili iza okulara **ODMAH GA BACITE!** Objektiv teleskopa uperenog u Sunce sakuplja ogromnu količinu sunčeve topline u svojem žarištu, dakle točno tamo gdje se okularni filter nalazi. Prije ili poslije okularni filter će od prekomjernog zagrijavanja puknuti i u oko će nam uletjeti puni intenzitet sunčevog zračenja. Nemojte riskirati da povećate broj amatera koji su na taj način zaradili trajno oštećenje vida! Dakle, svaku vrstu okularnog filtera za Sunce treba odmah uništiti kao vrlo opasnu stvar. Jedini način da se spriječi ulazak tolike količine topline u instrument je postavljanje filtera ispred objektiva kako bi se suvišno svjetlo i toplina uklonili prije nego što uopće uđu u instrument. Na žalost, svaki filter koji se stavlja ispred objektiva mora biti velik kao i sam objektiv i biti optički vrlo kvalitetan. Ako je takav filter izrađen od stakla na koje je nanesen posebni metalni sloj koji najveći dio (oko 99,999%) sunčevog zračenja odbija a samo mali dio propušta, on je vrlo skup. Postoje i jeftiniji filteri kod kojih je metalni sloj nanesen na tanku plastičnu foliju. Oni su jednako dobri i znatno jeftiniji, ali traže veću pažnju kod rukovanja. **OBJE OVE VRSTE FILTERA MORAJU BITI IZRIČITO OZNAČENE KAO FILTERI ZA VIZUALNO OPAŽANJE SUNCA!** Pazite kod nabavke da ne biste kupili filter napravljen za neku drugu namjenu, npr. za

fotografiranje Sunca. Ovaj potonji propušta oko 100 puta više svjetla od filtera za opažanje Sunca i opasan je po vid.

Najsigurniji način opažanja Sunca je tzv. metoda projekcije. Kod te metode okularom projiciramo povećanu sliku Sunca na bijeli zaslon iza njega, gdje je u miru možemo gledati ili skicirati. Ova je metoda jednostavna i potpuno sigurna i zato je preporučam svima. Njena je prednost osim toga i ta da nekoliko osoba može istovremeno gledati sliku Sunca, što je posebno pogodno za grupni rad.



**Slika 31:** Projiciranje slike Sunca na zaslon. Otvor objektiva smanjen je zaslonom (1) na oko 60 mm, sjenilo (2) izrađeno od komada kartona ili sličnog materijala natakuto je na cijev teleskopa i baca sjenu na zaslon (3). Zaslon je na neki prikladan način (4) učvršćen na cijev teleskopa. Radi preglednosti montaža teleskopa ispuštena je sa skice. Kad se teleskop usmjeri prema Suncu, okular projicira povećanu sliku sunčevog diska na zaslon, gdje ju u miru i sigurno možemo proučavati. Ovakva metoda opažanja naziva se okularna projekcija.

No i tu postoji nekoliko pravila koja treba poštivati. Kao prvo, da prevelika količina topline kod većih teleskopa ne bi oštetila okular, otvor objektiva treba ograničiti na oko 60 mm zaslonom izrezanim iz crnog kartona. Zaslon treba biti dobro učvršćen ispred objektiva teleskopa da ga slučajni udar vjetra ili nepažljivi prolaznik ne bi skinuli. Ako je teleskop reflektor, postavite zaslon ekscentrično, tako da se nosač sekundarnog zrcala sakrije

pod njim. Za projekciju upotrijebite okular najveće žarišne daljine a udaljenost zaslona iza njega odredite pokusom dok ne dobijete sliku zadovoljavajuće veličine i svjetline. Promjer slike od 15 cm sasvim je dovoljan za ovu vrstu opažanja. Sliku kao i kod gledanja kroz teleskop izoštrite pomicanjem okulara. Na tubus teleskopa postavite veći komad kartona koji će bacati sjenu na zaslon kako bi si olakšali opažanje. Kod teleskopa bez praćenja trebat će ručnim pomicanjem teleskopa zadržavati sliku Sunca u sredini zaslona, no ta se vještina brzo nauči. I još nešto! I obični dalekozor može se upotrijebiti za projekciju. Jednu njegovu polovicu ostavite poklopljenu, a Sunce projicirajte kroz drugu. Zbog malog povećanja, zaslon treba staviti nešto dalje od dalekozora, u nekim slučajevima i više od metra daleko, a slika Sunca morat će zbog manje količine svjetla biti nešto manja nego kod projekcije kroz teleskop.

Kad malo uvježbamo ovaj način opažanja Sunca, možemo pokušati nacrtati njegovu površinu. Na malo čvršćem papiru nacrtamo šestarom kružnicu čiji je promjer jednak veličini projicirane slike Sunca. Kod teleskopa neka to bude 15 ili 20 cm, a kod dvogleda se možemo zadovoljiti i slikom promjera 5-10 cm. Bitno je jedino da uvijek koristimo kružnicu istog promjera kako bi se naši crteži mogli kasnije lako međusobno usporediti. Pokraj kružnice upisat ćemo kasnije podatke o vremenu i mjestu opažanja, instrumentu itd.

Papir učvrstimo na zaslon za projekciju tako da slika Sunca pada na njega. Laganim pomicanjem teleskopa i podešavanjem udaljenosti zaslona od okulara namjestimo veličinu slike Sunca tako da se rub Sunca poklapa sa kružnicom na papiru. Nema li teleskop motor za praćenje prividne rotacije nebeskog svoda, morat će se praćenje vršiti ručno, za što je potrebno dosta vježbe ali svakako nije nesavladiv problem. Održavajući stalno sliku Sunca unutar kruga na papiru, mekom olovkom prvo ucrtamo položaj središta pjega, a zatim ucrtamo i same pjege ocrtavajući ih olovkom. Kad smo tako ucrtali sve pjege vidljive tog trena na sunčevom disku, odaberemo jednu pjegu u blizini središta sunčevog diska. Isključimo praćenje i svakih nekoliko sekundi laganom crticom označimo njen trenutni položaj na papiru. Slika Sunca će ubrzo otići sa zaslona i time je crtež završen. Kako prividna rotacija nebeskog svoda sve nebeske objekte nosi od istoka prema zapadu, ucrtane crtice pokazuju točno smjer zapada na našem crtežu. Da bismo odredili smjer sjevera, lagano gurnimo teleskop u smjeru Sjevernjače. Slika Sunca će se pri tome pomaknuti prema jugu, pa taj smjer također pribilježimo na crtežu. Smjer Sjevernjače moramo naravno prije toga odrediti, npr. noćnim opažanjem. Najbolje je da zapamtimo prema kojem uočljivom objektu na obzoru (stablo, neboder, toranj i sl.) se smjer nalazi kako danju ne bismo bili u nedoumici. Ukoliko opažamo kad je Sunce blizu meridijana (recimo između 10 i 14 sati mjesnog vremena), smjer sjevera je približno prema gore, pa je to još jednostavnije. Pri tome se poslužimo činjenicom da je smjer sjever-jug okomit na smjer istok-zapad koji smo točno odredili ucrtavanjem dnevnog puta pjege po crtežu.

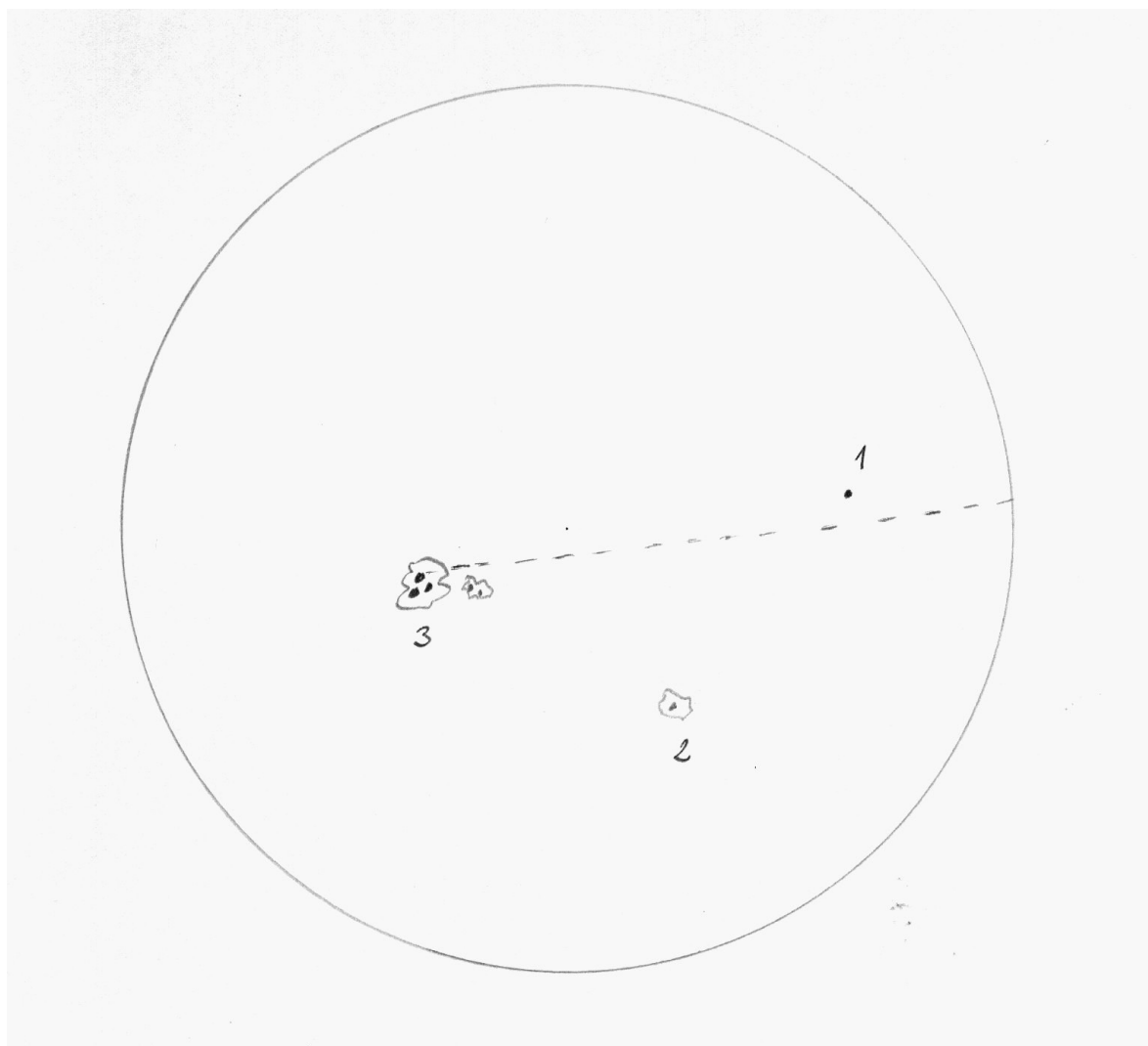
Na kraju svakako pribilježimo tip teleskopa i pribor kroz koji smo projicirali sliku Sunca. Kako pojedini tipovi teleskopa različito okreću sliku, ovo je posebno važno.

## Određivanje aktivnosti Sunca

Iz naših crteža lako možemo odrediti dnevnu aktivnost Sunca. Ona se mjeri tzv. Wolf-ovim brojem koji je dobio ime po astronomu Max Wolf-u koji je dugo godina opazao Sunce sa Ciriške zvjezdarnice. Pri tome je iznašao jednostavnu metodu za procjenu aktivnosti sunca prema broju opaženih pjega. Broj koji se na taj način dobije u njegovu se čast naziva Wolfov broj. On se računa po jednostavnoj formuli

$$W=k(10g+n)$$

Tu je  $n$  broj pjega a  $g$  broj grupa pjega opaženih na Suncu. Pod grupom pjega smatra se nekoliko pjega koje se nalaze u neposrednoj blizini. Osamljena pjega broji se i kao jedna pjega i kao jedna grupa. Faktor  $k$  omogućuje usporedbu opažanja učinjenih različitim teleskopima. Naime, kako se većim teleskopom vide i manje pjege, opažanja na njemu dala bi uvijek veći Wolf-ov broj od opažanja malim teleskopom. Zato je faktor  $k$  u pravilu velik za male, a mali za velike teleskope. No on se određuje na osnovu dugotrajne usporedbe opažanja učinjenih jednim teleskopom sa opažanjima na mnogim drugim teleskopima. Opažač ga sam ne može odrediti već se o tome brine nekoliko organizacija u svijetu koje prate aktivnost Sunca. Ako se aktivnost Sunca uvijek prati istim instrumentom i u istim uvjetima, on nije potreban pa se za međusobnu usporedbu vlastitih promatranja ili promatranja nekoliko opažača učinjenih na istom teleskopu uvijek uzima da je  $k=1$ .



**Slika 32:** Primjer određivanja wolfovog broja. Na Suncu je opaženo 3 grupe pjega (označene brojkama 1,2 i 3). Kad sve pjege pojedinačno pobrojimo, u grupi 1 imamo 1, u grupi 2 isto tako jednu i u grupi 3 5 pjega. Wolfov je broj za ovu sliku dakle, uz  $k=1$ ,  $10 \times 3 + 1 + 1 + 5 = 37$ .

## Mjesec

Za većinu astronoma Mjesec je samo smetnja čiji sjaj rasvjetljava noćno nebo i otežava opažanja. Pa zar ljudi već nisu bili na njemu!? On je potpuno nezanimljiv i više ne spada u astronomiju! Ovakvo mišljenje je potpuno pogrešno. O Mjesecu ni izdaleka ne znamo sve iako nam je on najbliže nebesko tijelo koje kao vjerni pas čuvar stalno prati majčicu Zemlju na njenom vječnom putu oko Sunca. A najnovija istraživanja ukazuju na to da je ovaj naš nebeski pratilac itekako zaslužan za nastanak i očuvanje života na Zemlji. Njegova privlačna sila izaziva plime i oseke i tako mnogim živim bićima u zoni izmjene plime i oseke osigurava život. Bez plime i oseke tih bića ne bi bilo. Mjesec uz to pomaže pri održavanju nagiba zemljine osi prema ekliptici i tako osigurava izmjenu godišnjih doba i tisućljetnu stabilnost klime. A mnogim noćnim životinjama jedini je i prijeko potreban izvor svjetla. Pjesnici i zaljubljeni sigurno bi pridodali još ponešto, zar ne!

Osnovni podaci o Mjesecu	
udaljenost od Zemlje	
srednja	384 400 km
u apogeju	406 700 km
u perigeju	356 400 km
promjer	3476 km
prividni promjer	
srednji	31' 5"
najmanji	29' 22"
najveći	33' 31"
masa	1/81.3 zemljine
srednja gustoća	3,34 g/cm <sup>3</sup>
period rotacije	27,32 dana
siderički period	27,32 dana
sinodički period	29,53 dana
nagib osi rotacije prema ekliptici	1° 32'
nagib staze prema ekliptici	5° 9'
ekscentricitet staze	0,0549
sila teža	0,165 zemljine
zvjezdana veličina (uštap)	-12,7

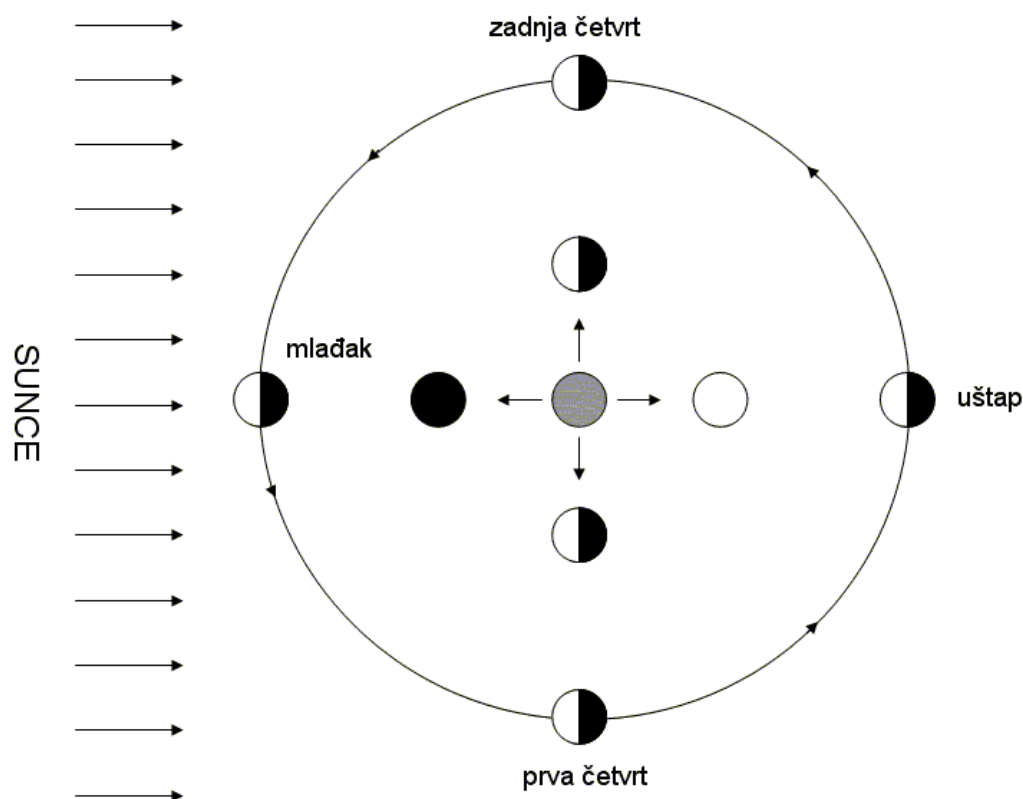
Kao i sunčev, mjesečev disk na nebeskom svodu zauzima oko pola stupnja. Zato je na njemu već golim okom moguće razabrati mnoštvo detalja a i najmanji teleskop pokazuje toliko raznih oblika da su potrebne godine da bi ih se sve vidjelo i upoznalo. Mjesečeva je površina zapravo tamna kao ugljen. Samo 7% sunčevog svjetla odbija se od nje. No i to je dovoljno da na noćnom nebu Mjesec bude tako blještav. Samo danje svjetlo donekle potamnjuje njegov sjaj ali i tada je Mjesec jedino nebesko tijelo, naravno osim Sunca, koje se bez teškoća može opaziti na dnevnom nebu.

Mjesec se vrlo brzo giba po nebeskom svodu. Zemlju obiđe jednom za nešto više od 27 dana. Nakon tog vremena ponovno se nađe u istom položaju prema udaljenim zvijezdama, pa se ovako određen ophodni period naziva i siderički period. No u tih 27 dana Zemlja prijeđe znatan dio svoje staze oko Sunca, pa Mjesec mora putovati još cijela dva dana da bi ponovno došao u isti položaj prema Suncu i ponovno nam pokazao istu fazu. Zato između dva mlađaka protekne nešto više od 29 dana. Taj se period stručno naziva sinodički period. U pradávná vremena mnoge su civilizacije svoj kalendar usklađivale sa gibanjem Mjeseca po nebeskom svodu. Otuda dolazi i broj dana u mjesecu koji je u ta vremena bio 30, ili su se izmjenjivali mjeseci od 29 i 30 dana da bi se kalendar bolje uskladio sa fazama Mjeseca.

Kako Sunce obasjava samo onu stranu Mjeseca koja je okrenuta prema njemu, opažać sa Zemlje opaža kako Mjesec u toku svog obilaska oko Zemlje pokazuje faze. U vremenu od postanka Mjeseca i Zemlje prije nekih 4,5 milijarde godina, Zemlja je svojom privlačnom silom uspjela toliko usporiti rotaciju Mjeseca da on danas Zemlji uvijek okreće istu stranu. Drugu stranu Mjeseca sa Zemlje nikad ne možemo vidjeti i tek nedavno smo posredstvom svemirskih letjelica uspjeli saznati kako ona izgleda.

Recimo još par riječi o tzv. tamnoj strani Mjeseca. Ovaj izraz često se koristi za mjesečevu stranu koju sa Zemlje ne vidimo, jer je rotacija Mjeseca usklađena sa njegovom revolucijom pa on Zemlji uvijek okreće istu stranu. No on je pogrešan jer strana Mjeseca koja je okrenuta od Zemlje nije tamna nego prolazi iste izmjene dana i noći koje prolazi i strana okrenuta prema Zemlji. Točnije je zato koristiti izraz “druga strana Mjeseca” ili “suprotna strana Mjeseca”.

## Upoznajmo Mjesečeve mijene



**Slika 33:** Evo kako nastaju Mjesečeve mijene: gledano sa Zemlje (u sredini skice) uvijek vidimo polovicu mjesečeve kugle koja je okrenuta prema nama. Osvijetljena je uvijek ona polovica Mjeseca koja je okrenuta prema Suncu. Ovisno o položaju Mjeseca na njegovoj stazi, sa Zemlje vidimo različite mijene Mjeseca.

U svojem neprekidnom kruženju oko Zemlje, Mjesec nam stalno pokazuje novo lice. Mlađak se nalazi u smjeru Sunca pa ga zbog sunčevog sjaja i zbog toga što tada vidimo samo neosvijetljenu mjesečevu stranu ne možemo vidjeti. Kad se Mjesec u trenutku mlađaka nađe točno ispred Sunca nastaje pomrčina Sunca. No zbog nagiba mjesečeve staze prema ekliptici to se događa prilično rijetko jer se Mjesec mora naći u čvoru svoje staze, tj. u točki u kojoj mjesečeva putanja siječe ekliptiku. Ako se to ne dogodi Mjesec u trenutku mlađaka prođe iznad ili ispod Sunca i do pomrčine ne dolazi. Slična je situacija i sa pomrčinom Mjeseca pa su obje pojave prilično rijetke. Dva dana nakon mlađaka pojavljuje se nisko na zapadnom obzoru tanašan srp mladog Mjeseca. Iz dana u dan on deblja i sve se više uzdiže nad obzorom. U prosjeku zalazi svaki dan oko 50 minuta kasnije, iako ovisno o dobu godine i trenutnom položaju mjesečeve staze prema ekliptici ovo vrijeme znatno varira. Astronomi često mijenu



Mjeseca izražavaju u danima proteklim od mlađaka. Tako izražena mijena naziva se starost Mjeseca. Starost Mlađaka je naravno 0 dana. Drevni su narodi često puta mjesece svojih kalendara započinjali pojavom mladog Mjeseca na zapadnom nebu, što se kod muslimana zadržalo sve do danas.

Većina amatera ne može si priuštiti skupa putovanja na posebno odabrana mjesta sa kojih je moguće, barem teoretski, opaziti vrlo mladi Mjesec. Stoga ga obično opažamo tek drugi dan nakon mlađaka, naravno ako je nebo neposredno nakon zalaska Sunca vedro i čisto. Kako je mladi Mjesec u blizini Sunca, on zalazi vrlo brzo nakon njega. To znači da ga možemo opažati samo rano navečer, često i prije nego što sumrak završi. Svakim danom Mjesec se odmiče za oko  $13,5^\circ$  od Sunca putujući zodijakom u smjeru istoka pa se brzo penje na nebeskom svodu i zalazi sve kasnije. Oko 7 dana nakon mlađaka dolazi Mjesec u 1 četvrt. U tom trenutku doglednica Mjeseca stoji pod pravim kutem na doglednicu Sunca a opažać sa Zemlje vidi osvijetljenu točno polovicu mjesečevog diska. U ovoj mijeni Mjesec zalazi oko ponoći pa imamo dovoljno vremena da ga detaljno proučimo.

Visina Mjeseca nad obzorom ovisi o godišnjem dobu i trenutnom položaju njegove staze prema ekliptici. Pri tome položaj ekliptike ima značajniji utjecaj jer se Mjesec od nje može udaljiti samo oko  $5^\circ$  prema "gore" ili "dolje". Kako je ekliptika na zimskom nebu visoko nad obzorom a ljeti nisko, tako su i visine koje Mjesec dosiže zimi znatno veće od onih koje dosiže ljeti. Sve to skupa dovodi do mnoštva zanimljivih pojava. Tako npr. uštap u kolovozu pada u blizini najnižeg dijela ekliptike pa Mjesec cijelu noć provodi nisko nad obzorom. No u nekoliko dana nakon uštapa kretanje Mjeseca ka istoku vodi ga po uzlaznom dijelu ekliptike pa on nekoliko uzastopnih dana izlazi gotovo u isto vrijeme. Narod ovu pojavu naziva žetveni Mjesec vjerujući da mu je Bog ovom pojavom omogućio da žetvene radove protegne na cijelu noć. Moguća je naravno i druga krajnost, kad Mjesec silazi po ekliptici i vrlo brzo nestane sa noćnog neba.

Uštap se uvijek nalazi na suprotnoj strani nebeskog svoda od Sunca. Stoga vidimo cijeli mjesečev disk osvijetljen, Mjesec izlazi u trenutku kad Sunce zalazi i obratno pa je na noćnom nebu prisutan cijelu noć. Ovdje je zgodno napomenuti da se zbog refrakcije, koja nebeska tijela na obzoru "uzdiže" taman za oko pola stupnja, u trenutku Uštapa mogu istovremeno vidjeti Sunce na zalasku i puni Mjesec na izlasku, naravno uz uvjet da imamo čist i neuzdignut obzor!

Nakon uštapa izlazi Mjesec sve kasnije i kasnije a zalazi nakon izlaska Sunca. Već nekoliko dana nakon uštapa nestaje Mjesec sa večernjeg neba. Zadnja četvrt izlazi tek oko ponoći a samo dan-dva iza toga stari se Mjesec pojavljuje tek na jutarnjem nebu. Nije stoga čudo što većina amatera mnogo bolje poznaje izgled Mjeseca do uštapa nego nakon njega. Jer mnogi ipak ne mogu ustajati u sitne noćne sate da bi malo pogledali stari Mjesec.

Tu priči o Mjesecu ni izdaleka nije kraj. Njegova je staza dovoljno eliptična da izazove primjetnu promjenu prividnog promjera mjesečevog diska. Kad je u perigeju (najbliže Zemlji) mjesečev disk ima promjer od punih  $33,5'$  a kad je u apogeju samo  $29,5'$ . Dogodi li se pomrčina Sunca kad je Mjesec u blizini apogeja, ne može on u potpunosti pokriti sunčev disk pa dolazi do prstenaste pomrčine Sunca.

## Opazanje Mjeseca golim okom

Već smo spomenuli da i kod opazanja golim okom na mjesečevom disku možemo vidjeti mnoštvo detalja. Dapače, golim okom možemo na Mjesecu često puta vidjeti više detalja nego što ih teleskop može pokazati na planetima kod najvećeg povećanja sa kojim raspolaže. Ne vjerujete? Pogledajte malo tablicu 12. U njoj se nalaze povećanja koja teleskop mora imati da bi disk planeta prividno izgledao jednako velik kao mjesečev disk gledan golim okom. Primijetite kako su u većini slučajeva ta povećanja vrlo velika!

**Tablica 12:** Kutne veličine diskova planeta i povećanje potrebno da njihov disk vidimo jednako velikim kao disk Mjeseca gledanog golim okom.

planet	prividni promjer (")		povećanje	
	max.	min.	max.	min.
Merkur	12,9	4,5	140	400
Venera	65,2	9,5	27	190
Mars	25,7	3,5	70	510
Jupiter	50,1	30,4	35	60
Saturn	20,9	15,0	85	120
Uran	3,7	3,1	490	580
Neptun	2,2	2,0	820	900

Nažalost, ova je činjenica slabo poznata amaterima a glavni razlog tome je velika svjetlina mjesečevog diska. Ona opažača noću zaslijepljuje i sprječava ga da uoči sitne detalje koje bi inače mogao lako opaziti. A već i opažatelj prosječne oštine vida bez poteškoća može na mjesečevom disku uočiti pedesetak različitih tvorbi, od mora, planinskih lanaca, do najvećih kratera. Protiv blještavila moguće je braniti se na dva načina. Kao prvo, možemo Mjesec opaziti u sumrak ili svitanje dok je nebeski svod još dovoljno svjetao da spriječi zaslijepljivanje sjajem samog Mjeseca. Svjetlina neba znatno smanjuje kontrast (razliku svjetline) između mjesečevog diska i okolnog neba pa u takvim uvjetima s lakoćom na mjesečevom disku možemo uočiti i najsitnije detalje. Želimo li pak opazanja protegnuti na noć, moramo zaslijepljujući sjaj mjesečevog diska smanjiti upotrebom tamnih filtera. Sivo staklo, sunčane naočale, komadić tamne plastične folije i slični tamni, prozirni materijali mogu biti dobri filteri za opazanje Mjeseca golim okom. Jednostavno isprobajmo ono što nam je pri ruci i sigurno ćemo uskoro naći prikladan filter. Puni je Mjesec oko 14 zvjezdanih veličina (400 000 puta) slabijeg sjaja od Sunca pa kod opazanja Mjeseca ne moramo tako strogo paziti na vrstu i kvalitetu filtera, a isto vrijedi i za opazanje Mjeseca i planeta kroz teleskop. Dakle, sve što je tamno i prozirno dolazi u obzir kao moguće dobar filter za opazanje Mjeseca. Bez puno mudrovanja jednostavno ga isprobajmo opazajući Mjesec pa ćemo odmah vidjeti da li nam odgovara ili ne. I na kraju dodajmo još i slijedeće: svjetlosno onečišćenje nimalo ne smeta opazanju Mjeseca, a ako je jako može čak i pomoći na sličan

način kao i tamno modro nebo u sumrak. Pa kad svjetlosno onečišćenje izbriše sve ostale nebeske objekte iz našeg dohvata, još uvijek možemo itekako uživati opazajući Mjesec!

Mjesec je za opažanje zanimljiv u svakoj svojoj fazi. U pravilu se najviše detalja može opaziti uz sumračnicu (terminator), kako se naziva linija koja dijeli osvijetljeni dio Mjeseca od neosvijetljenog. Kako Mjesec obilazi oko Zemlje, pomiče se sumračnica neprekidno po njegovom disku i otkriva nove (kad Mjesec raste, tj. napreduje od mlađaka do uštapa) ili skriva stare objekte (kad Mjesec pada, tj. nazaduje od uštapa prema mlađaku). Opažač sa teleskopom povećanja oko 100x može već nakon desetak minuta opažanja primijetiti lagano pomicanje sumračnice i mijenjanje izgleda mjesečevog terena uz nju. Golim okom to je nešto teže i promjene se obično opazaju tek iz noći u noć.

## Crtanje mjesečevog diska

Čak i kod opažanja Mjeseca golim okom vrijedno je pokušati nacrtati mjesečev disk. Tako ćemo trajno zabilježiti naša opažanja a kad savladamo crtanje Mjeseca bit ćemo sasvim spremni i za crtanje ostalih nebeskih objekata kod opažanja kroz teleskop. Za crtanje se obično koriste obične olovke različitih tvrdoća. S vremenom ćemo sami otkriti koje olovke i koje tvrdoće nam najbolje odgovaraju. Naime nerijetko se olovke "iste" tvrdoće različitih proizvođača, pa čak i olovke istog proizvođača, ali različitog tipa, međusobno jako razlikuju. Stoga je preporučljivo ne mijenjati tip olovaka prečesto. Najbolje je početi sa olovkama koje se mogu nabaviti u najbližoj papirnici i do kojih uvijek s lakoćom možemo doći. Za početak je dovoljno nabaviti dvije olovke: jednu tvrdu za početno skiciranje (tvrdoća oko 2H) i jednu mekšu (B-2B) za samo crtanje i podebljavanje linija. Nakon nekoliko crteža sami ćete vidjeti da li vam ove tvrdoće odgovaraju ili ih treba promijeniti. Naime svatko crta na drugačiji način i uz drugačiji pritisak olovke na papir tako da je općenite savjete teško dati.

Za crtanje nam je potreban i odgovarajući papir. Ovaj papir mora biti nešto tvrđi i ne previše gladak kako bi olovke dobro prijanjale na njega. Odgovarajući papir može se naći u blokovima za skiciranje. Nama je potrebna veličina papira između formata A5 (15x21 cm) i A4 (21x30 cm). Naravno da veći komad papira možemo izrezati na komade potrebne veličine. Izbjegavajmo glatki papir za fotokopiranje ili za računalne štampače jer je on previše gladak za crtanje. Papir za crtanje mora imati čvrstu podlogu i ne smije po njoj klizati. U papirnicama se mogu naći prikladne podloge različitih veličina, obično sa velikom kvačicom koja čvrsto drži papir na njegovom mjestu. No i komad tvrdog kartona ili tanke šperploče ili neka tvrdo ukoričena knjiga odlično će poslužiti svrsi. Na ovakvu podlogu papir u uglovima učvrstimo malim komadićima ljepljive trake. Za tu svrhu postoji nekoliko vrsta ljepljive trake koja ne lijepi prejak tako da se kasnije dade ukloniti a da ne podere papir. Nemamo li takvu traku pri ruci, oslabimo običnu ljepljivu traku tako da ju nekoliko puta nalijepimo i odlijepimo na vlastiti prst. Traka će se kod toga zamastiti i neće više tako čvrsto držati. Postoje i štipaljke za tu svrhu, a možemo ih naći u papirnicama i sličnim trgovinama, a mogu dobro poslužiti i štipaljke za rublje ili sl.

Da si olakšamo crtanje Mjeseca, na papiru šestarom nacrtamo krug promjera 10 do 15 cm. Crteži manji od 10 cm su premali i bit će nam teško ucrtati sve što okom uspijemo vidjeti, a

kod crteža većih od 15 cm bit će nam teško ocijeniti pravo mjesto i veličinu detalja unutar samog crteža. A mi naravno želimo da crtež bude što je to moguće vjerniji. Tu je dobro prethodno malo razmisliti i odlučiti se za jednu veličinu. Tako ćemo lakše uspoređivati pojedine crteže. Nismo li sigurni, isprobajmo na početku nekoliko veličina crteža i odaberimo onu koja nam se čini najpogodnija.

Prije opažanja priredimo sav potreban pribor. Olovke trebaju biti našiljene, papir za crtanje sa ucrtanim krugom na svom mjestu a dobro će nam doći i mekana gumica za brisanje koja ne smije mrljati kako bismo brzo i lako ispravili eventualne pogreške. Uz to moramo imati i odgovarajući izvor svjetla kojim ćemo osvjetljavati papir prilikom crtanja. Iako je Mjesec dovoljno svijetao da se može crtati i kod bijelog svjetla, mudro je odmah početi koristiti crvenu baterijsku svjetiljku koja će nam kod opažanja i crtanja nebeskih objekata slabijeg sjaja biti neophodna. Za crtanje je od velike važnosti da papir bude jednoliko osvjetljen. Proizvodi li naša svjetiljka oštre tamnije i svjetlije šare na papiru, zalijepimo jednostavno ispred stakla svjetiljke komad paus papira ili mutne ljepljive trake. On će raspršiti svjetlo svjetiljke i ukloniti nejednakosti u rasvjeti.

Neki amateri (autor uključen!) danas koriste i slabo narančasto svjetlo jer se s njime lakše radi, a kako ne mora biti jako intenzivno, ne kvari znatno adaptaciju oka na mrak. Imate li dakle narančastu svjetiljku, svakako ju isprobajte!

Prije nego što započnemo naš crtež, treba nekoliko minuta pažljivo opažati da bismo se upoznali sa izgledom mjesečevog diska. Strpljenje je ovdje važno jer oko s vremenom uočava sve više detalja. Tu je naravno važno i promatračko iskustvo, no njega možemo steći samo na jedan način: upornim i pažljivim opažanjem. Kad smo se dobro upoznali sa izgledom mjesečevog diska možemo započeti naš crtež. Pri tome se uvijek polazi od najvećih objekata na disku. Tvrdom olovkom se lagano unutar zacrtanog kruga označi njihov položaj. Kod Mjeseca ćemo započeti sa sumračnicom. Prvo tankom linijom označimo njen položaj na samom disku. Sad obratimo više pažnje na izgled same sumračnice. Da li je potpuno glatka? Pokazuje li možda na nekom mjestu udubljenje ili ispupčenje? Ako da, i to skiciramo tvrdom olovkom. Nakon toga u crtamo pojedina mora pazeći da što točnije u crtamo njihov izgled i veličinu. Vidi li se osim mora još neki manji detalj? Skicirajmo i njegov položaj. Tako smo načinili prvu, grubu skicu diska. Mekšom olovkom sad pažljivo podebljamo u crtane oblike. Pri tome je potrebno često ponovno opažati mjesečev disk i provjeravati točnost naše skice. Kad smo u crtali sve objekte koje sa sigurnošću raspoznavamo na mjesečevom disku, možemo završiti sliku. Pritom obratimo pažnju na svjetlinu pojedinih objekata. One tamnije osjenčamo mekom olovkom koliko je to potrebno. Tek kad je to završeno, možemo reći da je naša slika gotova. Ne zaboravimo zapisati podatke o samom opažanju kao i vrijeme početka i vrijeme završetka crtanja naše slike. Pri tome nastojimo sliku nacrtati u vremenu od 10 do 15 minuta.

Naknadna dorada slike u pravilu nije dozvoljena. Isto tako, dobar opažatelj će u sliku u crtati samo ono što je sigurno vidio. To je često puta teže nego što se na prvi pogled čini jer su mnogi objekti na granici vidljivosti. No i tu iskustvo najviše pomaže. Prvi pokušaji nas zato ne smiju razočarati. S vremenom ćete opaziti kako vaše slike postaju sve točnije i detaljnije. Crtanje je kao i opažanje zanat koji se uči radom i vježbanjem. Zato hrabro naprijed!

Neke stvari ipak možete naknadno napraviti. Npr. mnogi boje okolinu diska u crno da bi istakli bjelinu samog diska. To se lako napravi crnom temperom ili tušem. Možete isto tako cijelu sliku pobojati prozirnom žutom bojom da bi slika bojom bila sličnija samom Mjesecu. Vodene boje idealne su za to, a i dobre drvene boje će poslužiti. Pri tome treba paziti da se originalni crtež previše ne razmrlja. I na kraju, sliku možete zaštititi od mrljanja i brisanja bezbojnim lakom. U prodavaonicama foto pribora može se nabaviti specijalni lak za tu svrhu. Sličan lak koriste i umjetnici kod nekih tehnika crtanja, no obje ove vrste laka znadu biti dosta skupe. Umjesto toga možete posegnuti i za jednim ne tako skupim rješenjem: prozirni lak za kosu isto će dobro zaštititi sliku. Pri tome treba kupiti lak bez mirisa i kod lakiranja paziti da sloj laka ne bude predebeo. Bojenje i lakiranje najbolje je prije uvježbati na nekoj ne tako vrijednoj skici!

Originalne slike vrlo često se čuvaju nepromijenjene, a sve ovakve izmjene i dodaci rade se na kopiji koju izradimo pretravajući originalnu sliku na drugi papir. Pri tome možemo dodati boje, sjenčanja i sl.

## Opazanje Mjeseca dvogledom

Čak i najmanji dvogled pokazat će na Mjesecu bezbroj detalja. No, kako dvogledi imaju velike izlazne otvore pa stoga i relativno veliku svjetlinu slike, kod opazanja Mjeseca nas prevelika količina svjetla često puta zaslijepi pa ne možemo vidjeti najsitnije detalje. Protiv takvog zaslijepljenja može se boriti na nekoliko načina. Kao prvo, može se kao i kod opazanja golim okom svjetlinu Mjeseca smanjiti prikladnim tamnim filterima. Ako su dosta veliki, filteri se mogu staviti ispred objektiva dvogleda. No to traži dobru optičku kvalitetu filtera, inače će slika biti primjetno pokvarena zbog optičkih pogrešaka samih filtera. Ovakvi tamni filteri danas se mogu naći u trgovinama astronomske opreme i nisu pretjerano skupi. Rabljeni fotografski filteri ponekad se mogu povoljno kupiti na rasprodajama ili sajmovima rabljene foto opreme.

Tamni, tzv. sivi filteri, označavaju se faktorom za koji smanjuju količinu svjetla. Uglavnom se mogu nabaviti filteri sa faktorom 2x, 4x ili 8x. Za našu svrhu je faktor 2x premalo, pa treba pokušati sa 4x ili čak 8x filterom. Za usporedbu, posebni filteri koji se koriste kod opazanja većim teleskopima obično imaju faktor oko 8x. I još jedna napomena: slaganje tamnijeg filtera od nekoliko svjetlijih obično dovodi do osjetnog kvarenja kvalitete slike. Ovakvo slaganje često se koristi u fotografiji, no tamo zahtjevi za optičkom kvalitetom filtera nisu tako visoki kao u našem slučaju. Mnogo je bolje staviti manji filter neposredno iza zadnje leće okulara. U tom slučaju optička kvaliteta ne mora biti tako visoka, a manji filteri su obično i osjetno jeftiniji. Uz to, tu možemo pokušati upotrijebiti i tamne plastične folije ili slično. Uz malo sreće, naći ćemo filter koji nas zadovoljava kvalitetom slike.

Druga mogućnost je da otvor dvogleda se smanjimo zaslonima. Zaslone lako izrežemo iz kartona i pričvrstimo ispred objektiva dvogleda. Kako dvogledi imaju mala povećanja, razlučivanje slike neće se primjetno pokvariti. Najpogodniji otvor zaslona odredimo pokusom. U pravilu se otvori zaslona kod ovakvog smanjenja otvora objektiva kreću između  $1/3$  i  $2/3$  punog otvora dvogleda. Kod manjih otvora može kod dvogleda sa većim

povećanjima doći do gubljenja oštrote slike, dok veći otvori ne doprinose bitno smanjenju svjetline slike. Npr. imamo li dvogled 8x30 (otvor objektiva 30mm) isprobajmo zaslone otvora 10, 15 i 20 mm.

Dodatna prednost upotrebe zaslona kod dvogleda je poboljšanje slike koje je kod mnogih jeftinih modela dvogleda itekako primjetno. Naime, kod nedovoljno kvalitetno izrađenih dvogleda (90% dvogleda spada u ovu grupu) slika je nedovoljno oštra a tome najviše doprinose optičke pogreške rubova objektiva i loša kvaliteta okulara. Danju se to toliko ne primjećuje jer je zjenica oka znatno manja od izlaznog otvora dvogleda, pa ona igra ulogu našeg zaslona. Kod upotrebe danju dvogledi uglavnom "rade" sa oko polovicom svojeg punog otvora ili čak i manje! Tako se podosta smanjuju optičke pogreške objektiva, i još mnogo više, okulara. No, kad se noću zjenica oka potpuno raširi, veća je od izlaznog otvora dvogleda pa koristimo cijeli otvor objektiva. I tu upravo leže problemi kod jeftinih dvogleda. Proizvođači naravno znaju da se danju koristi samo središnji dio objektiva, pa ne paze toliko na kvalitetu slike kod punog otvora dvogleda. To itekako pojeftinjuje proizvodnju, a kako najveći dio korisnika dvogleda koristi danju, lošiju kvalitetu instrumenta i ne primjećuje. Nažalost astronomi dvogleda koriste noću pa su njima optički nedostaci dvogleda itekako vidljivi. No, nemojmo se ljutiti na proizvođače. Oni uglavnom pošteno zarađuju svoj kruh. Najveći dio korisnika dvogleda kupuje jeftine modele koji, ovisno o modelu i proizvođaču, obično koštaju između 200 i 600 kuna. Za usporedbu navedimo da dvogled karakteristika 10x50 vrhunske optičke kvalitete košta više od 10 000 kuna! Kad bi nesrećom na svijetu postojali samo ovakvi savršeni instrumenti, gotovo nitko ih ne bi mogao kupiti, a proizvođači bi odavno propali. Najveći dio amatera se zato zadovoljava dvogledima nešto manje kvalitete. Uz malo znanja i spretnosti užitak opažanja takovim dvogledima nije ništa manji. Naprotiv! Zamislite si na primjer da ste sretnik koji ima vrhunski dvogled, pa vam on u tumbanju kod noćnog opažanja lijepo padne na najbliži kamen i oprosti se sa životom! Ako vam se to dogodi sa jeftinim dvogledom, mnogo lakše ćete preboljeti posljedice takove nezgode koja nije tako rijetka kao što se to čini.

Kad smo na neki od gornjih načina riješili problem prevelike svjetline slike, možemo se prihvatiti opažanja Mjeseca. Kod samog opažanja od velike je važnosti naša udobnost. Ako opažamo iz neudobnog položaja vrlo brzo ćemo se zamoriti i morat ćemo prekinuti opažanje. To posebno vrijedi za opažanje u blizini zenita. Opažamo li stojeći ili uspravno sjedeći već nakon nekoliko minuta nesnosno će nas boljeti vrat. Kao i kod opažanja meteora, ovdje možemo pribjeći stolici sa spuštanim naslonom ili ležaljci iz koje možemo duže vremena udobno gledati u smjeru zenita. Ne zaboravimo se dobro utopeliti i zaštititi od noćne vlage!

Kod samog opažanja dvogled mora imati stabilan i čvrst oslonac. Držimo li dvogled samo rukama, brzo ćemo se zamoriti i slika će se početi primjetno tresti jer dvogled osim nebeskih objekata povećava i utjecaj trešnje naših vlastitih ruku. Nađimo zato neki čvrsti oslonac na koji se možemo nasloniti ili montirajmo sam dvogled na neki priručni stalak, npr. jači fotografski tronožac ili slično.

Dvogledom možemo na Mjesecu vidjeti ogromno mnoštvo detalja: sva mora, većinu planinskih lanaca, mnoštvo kratera i raznih drugih tvorbi. Gibanje sumračnice mnogo je lakše uočiti nego golim okom a uz samu sumračnicu duge sjene jako ističu reljef mjesečeve površine. S druge strane sumračnice, na još neosvijetljenom dijelu mjesečevog diska, često

možemo vidjeti svijetle točke: vrhunce visokih planina koji su već osvijetljeni Suncem, dok su same planine i njihova podnožja u sjeni. Kad Mjesec raste prema uštapu, opažamo tako uz sumračnicu izlazak Sunca na tom dijelu mjesečeve površine! Nakon uštapa sumračnica se pojavljuje na drugoj strani mjesečevog diska i polagano tamom pokriva sve veći njegov dio: tada opažamo zalaz Sunca na tom dijelu mjesečeve površine!

Duge sjene uz sumračnicu ističu reljef i olakšavaju uočavanje najsitnijih detalja. Nije stoga čudo što se kod Mjeseca uglavnom opažaju područja uz sumračnicu. No, i kad su sjene kratke, ili kad potpuno isčeznu (kod uštapa!) Mjesec ne prestaje biti zanimljiv. Reljef tada gotovo nestaje i pojedine tvorbe razlikujemo samo po razlici svjetline među njima. Tu do izražaja dolaze tamna dna mora, i sustavi svijetlih zraka koji se od nekoliko kratera šire skoro preko cijele vidljive mjesečeve površine. Zrake su materijal koji je u mlazovima izbačen iz površine Mjeseca prilikom nastanka samog kratera i koji je kasnije pao natrag na mjesečevu površinu, često puta i više tisuća kilometara daleko od samog kratera. Ovaj materijal je relativno nov i izloženost sunčevim zrakama i sunčevom vjetru (Mjesec nema atmosfere niti magnetskog polja, pa sunčev vjetar dolazi direktno do njegove površine) nije ga još uspjela potamniti. Zato se on ističe na starijem i tamnijem materijalu koji pokriva veći dio mjesečeve površine. Najpoznatiji sustavi zraka su oni kratera Tiho i Kopernik.

## Crtanje detalja mjesečeve površine

Crtanje mjesečeve površine kod opažanja dvogledom ne razlikuje se mnogo od crtanja kod opažanja Mjeseca golim okom. Najveća razlika je u tome da se dvogledom na Mjesecu vidi toliko mnoštvo detalja da je i njihov mali dio nemoguće nacrtati u cijeloj noći opažanja. Zato se kod opažanja dvogledom ili teleskopom crtanje ograničava na jedan manji dio mjesečeve površine, često na samo jedan krater ili planinski vrh. Izuzetak su skiciranja mjesečevih zraka kod punog Mjeseca ili crtanje toka pomrčine Mjeseca, kad se za orijentaciju na Mjesečevom disku ucrtavaju samo konture mora i desetak najvećih kratera. I naravno same zrake, ili rub zemljine sjene u slučaju pomrčine. A dosta je zanimljivo pokušati i nacrtati neosvijetljeni dio Mjeseca kad je Mjesec mlad pa je njegov tamni dio osvijetljen tzv. pepeljastom svjetlošću. Naime kad je Mjesec mlad, Zemlja je, gledano sa Mjeseca, gotovo puna i oko 4 puta veća na mjesečevom nebu od Mjeseca na zemljinom. Ona na Mjesec baca toliku količinu svjetla da se osvijetljenost tamnog dijela mjesečeve pomrčine primjećuje i sa Zemlje u vidu pepeljaste svjetlosti. Ona je posebno jaka kad na dijelu zemljine kugle okrenute Mjesecu u tom trenutku ima mnogo oblaka. Oblaci odbijaju mnogo više sunčeve svjetlosti od same zemljine površine, pa je tada pepeljasta svjetlost znatno jača.

Kod crtanja detalja često se ne koriste okrugle šablone već se jednostavno crta na bijeli papir odgovarajuće veličine.

## Opažanje Mjeseca teleskopom

Opažanje Mjeseca kroz teleskop slično je opažanju dvogledom. Kako teleskop posjeduje vlastiti stalak, problem oslonca i trešnje slike obično ne postoji, kao ni problem prevelike svjetline slike jer su povećanja koja se koriste kod opažanja Mjeseca kroz teleskop znatno veća. Izuzetak su opažanja kroz velike teleskope, sa otvorom objektiva većim od oko 15 cm, kad kod manjih povećanja slika može postati presvijetla. Tada se koriste tamni filteri koji se u pravilu stavljaju ispred okulara, ili se otvor teleskopa na sličan način kao i kod dalekozora smanji zaslonom.

Kod opažanja cijelog mjesečevog diska povećanja se kreću između 30x i 60x jer kod većih povećanja cijeli mjesečev disk ne stane u vidno polje. Za opažanje detalja koriste se velika povećanja, sve do granice korisnih povećanja za dani teleskop jer Mjesec ima dovoljno svjetla i za najveća povećanja. Vrlo često je najveće upotrebljivo povećanje određeno titranjem zraka a ne razlučivanjem samog teleskopa. Ako je ovaj problem često prisutan, moramo početi voditi više brige o astronomskoj klimi našeg mjesta za opažanje.

Mjesec nam je najbliže nebesko tijelo. Zato već i manji teleskop omogućava da na njemu vidimo objekte velike svega nekoliko km. U blizini sumračnice duge sjene ističu reljef površine pa se redovito mogu opažati i znatno manje neravnine. Ovakva opažanja na granici mogućnosti instrumenta traže dosta iskustva i uvježbanosti oka koje se stiče samo na jedan jedini način: čestim opažanjem.

Mjesec Zemlji okreće uvijek istu stranu. No kako njegova staza nije kružna, već je blago eliptična, i kako je malo nagnuta prema ekliptici, možemo malo zaviriti "iza ruba" na drugu stranu mjesečevog diska. Ova pojava naziva se libracija (u prijevodu "njihanje") i ona nam u dužem vremenskom periodu omogućava da vidimo do 59% cijele mjesečeve površine. Ona je najprimjetnija po izduženosti i položaju kratera uz rub mjesečevog diska. Pratimo li kroz nekoliko mjesečevih mijena isti krater u blizini ruba mjesečevog diska, primijetiti ćemo da je neki puta izduženiji i bliži rubu, a neki puta malo dalje od ruba i malo više zaokružen. Najlakše se ova pojava opaža već i dalekozorom na Moru Kriza. Ima iskusnih opažača koji tvrde da se baš po Moru Kriza libracija može zamijetiti već i golim okom!



## OPAŽANJE PLANETA

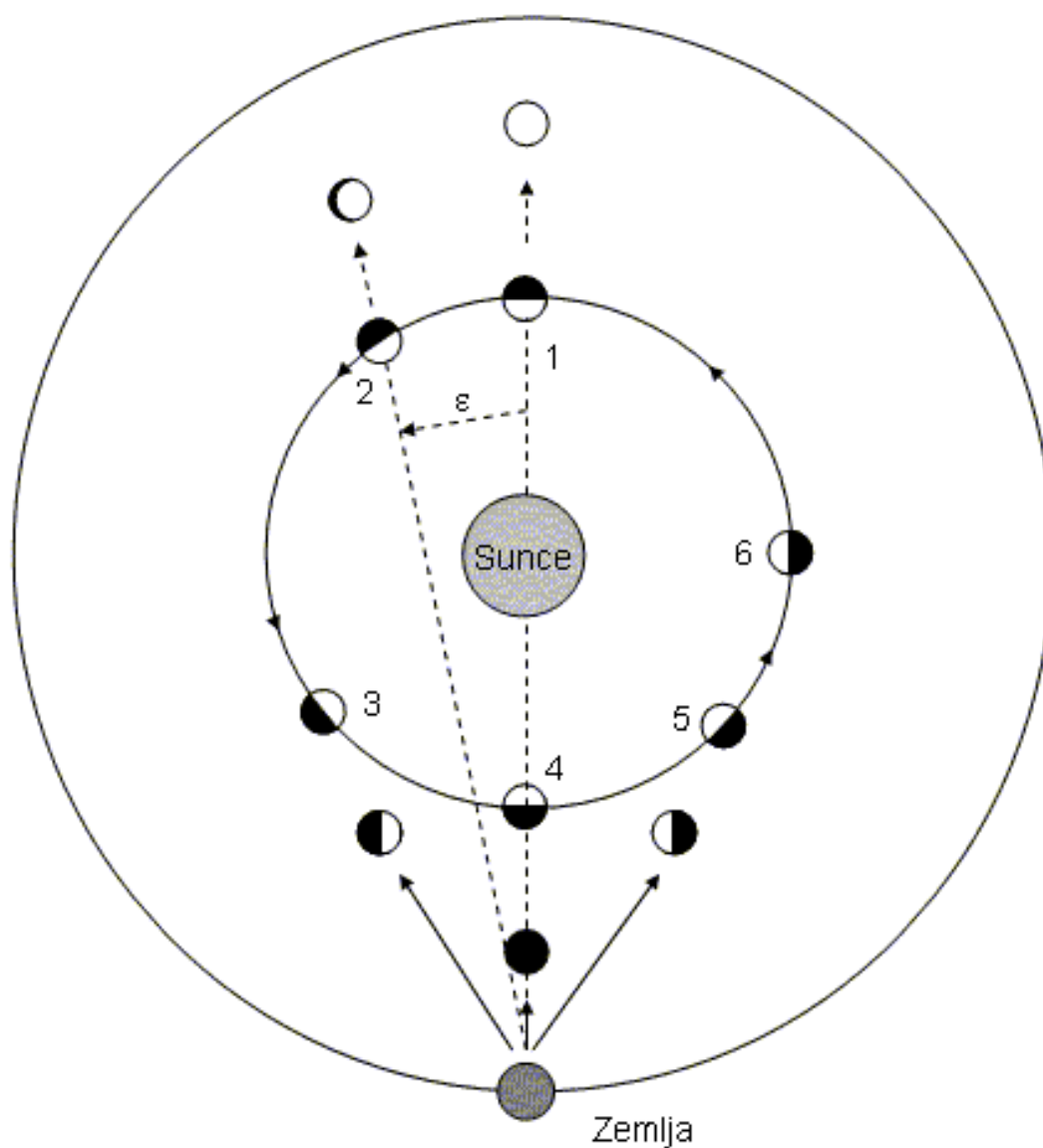
Golim je okom lako vidljivo pet planeta. U najpovoljnijim okolnostima Uran je na granici vidljivosti, no uglavnom će nam trebati barem mali dvogled da ga sa sigurnošću opazimo. Za Neptun nam je potreban veći dvogled ili manji teleskop dok je Pluton tako slabog sjaja da zahtijeva opažanje teleskopom promjera objektiva od barem 25 cm.

### Unutarnji planeti

Staze Merkura i Venere nalaze se unutar zemljine staze. Zato se oni nazivaju unutarnji planeti. Za promatrača sa zemljine površine oni se uvijek nalaze u blizini Sunca, pa se mogu opažati samo navečer nakon zalaska Sunca ili ujutro prije njegovog izlaska. Ovo posebno vrijedi za Merkur čija staza je znatno manja pa se on može opažati samo u nekoliko dana oko njegove najveće elongacije (elongacija je naziv za kutnu udaljenost nekog nebeskog tijela od Sunca). Čak i u najvećoj elongaciji Merkur se od Sunca udalji samo  $28^\circ$  pa uvijek zalazi prije kraja sumraka ili izlazi tek u samo svitanje. Merkur se kao i ostali planeti prividno uvijek zadržava u neposrednoj blizini ekliptike, pa je njegova visina nad obzorom u našim krajevima uvijek znatno manja od elongacije, što dodatno otežava njegovo opažanje. Sa povećanjem zemljopisne širine situacija se sve više pogoršava jer se ekliptika sve više priklanja k obzoru.

Vrlo brzo gibanje Merkura po nebeskom svodu daje opažaču samo nekoliko dana prije i poslije najveće elongacije da ga opazi prije nego što se ponovno ne izgubi u sunčevom sjaju. Merkur oko Sunca obiđe za samo 88 dana, od gornje konjunkcije do najveće elongacije protekne samo 36 a do donje konjunkcije još 22 dana. Konjunkcija je naziv za položaj u kojem se planet, gledano sa Zemlje, nalazi točno u smjeru Sunca. Kako unutarnji planeti u tom trenutku mogu biti ispred ili iza Sunca, govori se o gornjoj konjunkciji (kad je planet iza Sunca) i donjoj konjunkciji (kad je planet ispred Sunca). Definicije ovih posebnih položaja unutarnjeg planeta ilustrirani su na primjeru Venere na slici 34.

Vanjski planeti ne mogu doći između Zemlje i Sunca pa se kod njih govori samo o konjunkciji. Tada se oni za opažača sa zemljine površine nalaze iza Sunca. Vanjski planeti zato mogu doći u smjer nasuprotan Suncu. Tada se Zemlja nalazi na spojnici dotičnog planeta i Sunca, planet izlazi kad Sunce zalazi, vidljiv je cijelu noć i zalazi tek sa izlazom Sunca. Ovaj trenutak naziva se opozicija i to je najpovoljnije vrijeme za opažanje vanjskog planeta jer je on tada najbliži Zemlji, i njegov disk ima najveći prividni promjer.



**Slika 34:** Međusobni položaji Venere i Zemlje. U gornjoj konjunkciji (položaj 1) Sunce se nalazi točno između Venere i Zemlje. Dva mjeseca kasnije oba planeta dolaze u položaj 2. Kako se Venera giba brže od Zemlje, ona se za opažača sa zemljine površine prividno odmakla od spojnice Zemlja-Sunce pa je opažač može opaziti nisko nad zapadnim obzorom neposredno nakon zalaska Sunca. Kut između doglednica Sunca i Venere ( $\epsilon$  na slici) naziva se elongacija. Nakon 221 dana i Venera i Zemlja dolaze u položaj 3. Doglednica Venere sad dira njezinu stazu i elongacija poprima najveću moguću vrijednost, koja u slučaju Venere iznosi oko  $47^\circ$ . Nakon daljnjih 71 dana oba planeta dolaze u položaj 4. U tom trenutku Venera "prestiže" Zemlju i prolazi točno između nje i Sunca. Za opažača se Venera ponovno nalazi u smjeru Sunca, ali ovaj puta ispred njega. Prividno gibanje Venere sad je jako veliko pa se ona već par dana nakon toga pojavljuje na jutarnjem nebu. Faze se sad ponavljaju u obrnutom slijedu, sve do iduće gornje konjunkcije. Slika je crtana onako kako je doživljava opažač sa zemljine površine (gibanje Zemlje nije uzeto u obzir).

Venera je znatno dalje od Sunca nego Merkur pa se po nebeskom svodu giba sporije i uz to postiže i znatno veće maksimalne elongacije: oko  $47^\circ$ . Venera se zato penje mnogo više nad obzor i u našim krajevima može zalaziti i do tri sata nakon Sunca ili izlaziti isto toliko ranije. Tako je ona po nekoliko mjeseci prisutna na večernjem ili jutarnjem nebu kao zvijezda Večernjica ili zvijezda Danica, kako je naš narod naziva. Venera je iza Mjeseca najsvjetliji nebeski objekt i može biti i do 15tak puta sjajnija od Siriusa.

Za opažača sa Zemlje cijeli se ovaj ples odvija u neposrednoj blizini ekliptike. Kako gledano iz naših krajeva ekliptika sa obzorom zatvara najveći kut u proljeće, u tom je dijelu godine unutarnje planete mnogo lakše opažati nego u ostalim dijelovima godine, kad je ekliptika položena niže uz obzor, pa su visine unutarnjih planeta znatno manje. Najnepovoljnije vrijeme za opažanje unutarnjih planeta je jesen, jer je tada ekliptika najbliže obzoru, što u suradnji sa čestim maglama i sumaglicama uz obzor znatno otežava opažanja.

Opažatelj koji teleskopski prati unutarnji planet uočiti će da on pokazuje sve mijene kao i Mjesec. U gornjoj konjunktiji disk planeta je pun ("uštap"), u najvećoj elongaciji pokazuje otprilike prvu ili posljednju četvrt a u donjoj konjunktiji vidi se samo neosvijetljena strana unutarnjeg planeta pa je on "mlad".

## Merkur

Osnovni podaci o Merkur	
srednja udaljenost od Sunca	57 910 000 km (0,387 AJ)
u afelu	70 071 000 km
u perihelu	45 749 000 km
promjer	5949 km
najmanji prividni promjer	4,5"
najveći prividni promjer	12,9"
masa	0,0552 (1/18) zemljine
srednja gustoća	5,42 g/cm <sup>3</sup>
atmosfera	nema je
period rotacije	58,6 dana
ophodni period	87,97 dana
nagib osi rotacije prema stazi	0°
nagib staze prema ekliptici	7°
ekscentricitet staze	0,21
sila teža	0,378 zemljine
zvjezdana veličina (max)	-1,9

Merkur je i u najpovoljnijim uvjetima opažanja uvijek nisko iznad obzora i zalazi prije kraja sumraka ili izlazi tek u svitanje. Dvogled je vrlo korisno pomagalo u traženju Merkura jer pojačava njegov sjaj u usporedbi sa svijetlim nebom pa ga je znatno lakše uočiti. Mnogi opažači tvrde da je najbolji način za opažanje Merkura golim okom taj da ga se prvo pronade dvogledom, a onda, kad točno znamo gdje se on na nebeskom svodu nalazi, znatno ga je lakše opaziti golim okom.

Blizina obzora koja je povezana sa velikim titranjem slike zbog debelog sloja zraka kroz koji svjetlo mora proći, te malena prividna veličina merkurovog diska, onemogućavaju detaljno opažanje merkurove površine. I u najboljim uvjetima malim amaterskim teleskopima mogu se vidjeti samo faze merkurovog diska. Vrlo iskusni promatrači ponekad uspiju uočiti svjetlije i tamnije dijelove merkurove površine, ali je kontrast između njih tako slab da su one uvijek na granici vidljivosti. Tek su nam slike odaslane sa svemirskih sonde koje su prošle u blizini Merkura pokazale kako u stvari izgleda njegova površina. Ona je vrlo slična mjesечеvoj, sa bezbrojem kratera na njoj.

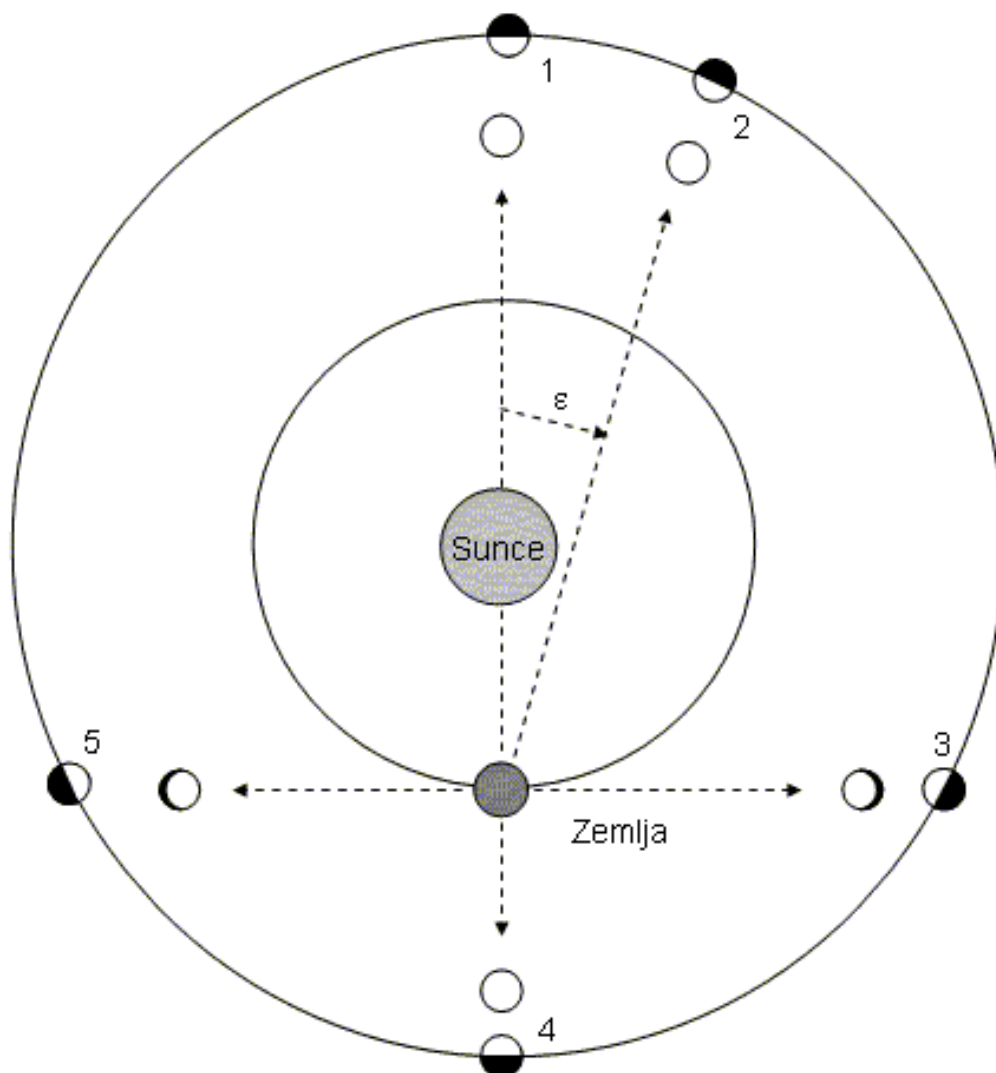
## Venera

Osnovni podaci o Veneri	
srednja udaljenost od Sunca	108 200 000 km (0,723 AJ)
u afelu	109 282 000 km
u perihelu	107 118 000 km
promjer	12 104 km
najmanji prividni promjer	9,5"
najveći prividni promjer	65,2"
masa	0,814 zemljine
srednja gustoća	5,25 g/cm <sup>3</sup>
atmosfera	vrlo gusta, uglavnom CO <sub>2</sub>
period rotacije	243 dana retrogradno
ophodni period	87,97 dana
nagib osi rotacije prema stazi	177,36°
nagib staze prema ekliptici	3,39°
ekscentricitet staze	0,01
sila teža	0,905 zemljine
zvjezdana veličina (max)	-4,4

Za razliku od Merkura, Venera se prividno znatno više udaljava od Sunca, i po nebeskom svodu putuje znatno sporije. Ona je uz to (iza Mjeseca) najsvjetliji objekt na nebeskom svodu, pa njeno pronalaženje ne predstavlja nikakav problem. Svoj veliki sjaj Venera zahvaljuje gustom oblačnom sloju koji odbija vrlo velik dio sunčevog svjetla. Kako je uz to Venera nama najbliži planet, njen sjaj na večernjem ili jutarnjem nebu veći je i od najsajnije zvijezde, Siriusa. Dapače, on je obično toliko velik da je Venera, uz Mjesec i Jupiter, jedino nebesko tijelo čije svjetlo je toliko jako da je moguće vidjeti sjene koje ono baca na tlo. Za takvo opažanje moramo naravno biti daleko od bilo kakve umjetne rasvjete a tlo ili zid na kojeg sjena pada treba biti svjetlije boje.

Ovo blještavilo predstavlja veliki problem za opažanje Venere dalekozorom ili teleskopom jer snažno zaslepljuje promatrača. Uz to je oblačni sloj praktički jednolik i ne pokazuje nikakve detalje. Stoga se dvogledom ili manjim teleskopom mogu samo pratiti venerine faze. Tek opažanja većim teleskopima uz upotrebu ljubičastih filtera ponekad omogućavaju da se opaze neznatne razlike u svjetlini oblačnog sloja. Te su razlike toliko neznatne da su se opažači stoljećima svađali oko toga postoje li one zaista ili su samo posljedica naprezanja očiju na granici njihovih mogućnosti.

## Vanjski planeti



**Slika 35:** Međusobni položaji Zemlje i vanjskog planeta. Položaj 1 naziva se konjunkcija. U položaju 2 planet se dovoljno odmakne od Sunca da bi se pojavio na jutarnjem nebu. Tek u blizini položaja 3, koji se naziva kvadratura, može se primijetiti malena faza. U položaju 4 (opozicija) planet je najbliži Zemlji, i postiže najveći prividni sjaj.

Staze vanjskih planeta izvan su zemljine staze. Zbog toga ih u toku godine možemo vidjeti u svako doba noći. Kad je vanjski planet u smjeru Sunca kažemo da se nalazi u konjunkciji. Tada ga naravno ne možemo opažati. Nedugo nakon konjunkcije pojavi se on kao jutarnja zvijezda u svitanje i nakon toga se polagano odmiče od Sunca i izlazi sve ranije i ranije. Kad

se Zemlja nađe između Sunca i vanjskog planeta izlazi planet rano navečer, kulminira u ponoć i zalazi tek ujutro. Taj položaj naziva se opozicija. Tada je planet najbliži Zemlji, postiže najveći prividni promjer i sjaj i vidljiv je cijelu noć. Uz to, kod vanjskih planeta cijelo vrijeme vidimo onu polovicu planeta koja je obasjana Suncem, pa vanjski planeti ne pokazuju faze kao unutarnji. Kod Marsa i Jupitera se u povoljnim uvjetima može većim amaterskim teleskopima opaziti lagano zasjenjenje ruba diska planeta, pa oni tada izgledaju kao Mjesec dan ili dva prije ili poslije uštapa. Ostali planeti toliko su daleko da je ova pojava neprimjetna. Ona dolazi od toga što spojnice Sunce-planet i Zemlja-Planet tada zatvaraju nešto veći kut, pa sa Zemlje vidimo i mali dio diska planeta koji nije osvijetljen.

## Mars

Osnovni podaci o Marsu	
srednja udaljenost od Sunca	227 940 000 km (1,524 AJ)
u afelu	248 455 000 km
u perihelu	207 425 000 km
promjer	6794 km
najmanji prividni promjer	3,5"
najveći prividni promjer	25,7"
minimalna faza	85%
masa	0,107 (1/9) zemljine
srednja gustoća	3,94 g/cm <sup>3</sup>
atmosfera	vrlo rijetka, N <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub>
period rotacije	1,03 dana (1 sol)
ophodni period	686,98 dana
nagib osi rotacije prema stazi	25,19°
nagib staze prema ekliptici	1,85°
ekscentricitet staze	0,09
sila teža	0,379 zemljine
zvjezdana veličina (max)	-2,0

Oko konjunkcije prividni disk Marsa toliko je malen da se ni velikim teleskopima na njemu ne može vidjeti praktički ništa osim samog diska planeta. Ali u blizini opozicije već i manji teleskopi pokazuju površinske detalje. Čak i najmanji teleskop će tada pokazati marsove polarne kape koje se ističu svojom bijelom bojom. One se sastoje od mješavine leda i

zamrznutog ugljičnog dioksida. Marsovo tlo je crvenkaste boje i pokriveno je kamenjem ili pijeskom. Nešto tamniji dijelovi zbog kontrasta često puta izgledaju zelenkasto iako je u stvarnosti njihova boja samo tamnija nijansa crvenkaste boje. Zbog toga su mnogi opažači u prošlosti vjerovali da u tamnijim područjima rastu biljke i da na Marsu postoji razvijen živi svijet. No svemirske sonde su pokazale da je Mars bezvodna pustinja. Kod teleskopa otvora većeg od 10 cm često se puta za opažanje koristi zeleni ili narančasti filter. Ovi filteri pojačavaju kontrast između tamnijih i svjetlijih dijelova marsove površine pa ih je lakše uočiti. Kod većih teleskopa koristi se i plavi filter koji ističe oblake u tanašnoj marsovoj atmosferi. Po neki puta se pojavljuju i velike pješčane oluje koje se mogu opaziti čak i sa malim teleskopima. Tada su površinski detalji na dijelu planeta zahvaćenog olujom zamućeni ili se uopće ne mogu vidjeti. Ponekad se dogodi da pješčane oluje pokriju cijelu marsovu površinu pa u teleskopu vidimo samo disk planeta bez ikakvih detalja na njemu. Period rotacije Marsa oko pola je sata duži od zemljinog. Kako se sve više razmišlja o slanju ljudi na Mars, njegov dan dobio je i posebno ime: sol.

Mars ima dva satelita, koji su vrlo mali i imaju nepravilan oblik. Najvjerojatnije se radi o zarobljenim asteroidima. Za njihovo opažanje potreban je veliki teleskop, otvora većeg od 20 cm.

Marsovi sateliti					
br	ime	polumjer staze (km)	period (d)	promjer (km)	sjaj (m)
I	Fobos (Strava)	9 000	0,32	22	11,3
II	Deimos (Užas)	23 000	1,26	12	12,3

Kod crtanja diska planeta koristi se okrugla šablona koja je uvijek istog promjera, bez obzira na trenutni prividni promjer marsovog diska. To nam olakšava kasnije crtanje karata površine planeta. Obično se za crtanje koristi krug promjera 50 mm, a sam postupak crtanja sličan je onom kod crtanja Mjeseca.



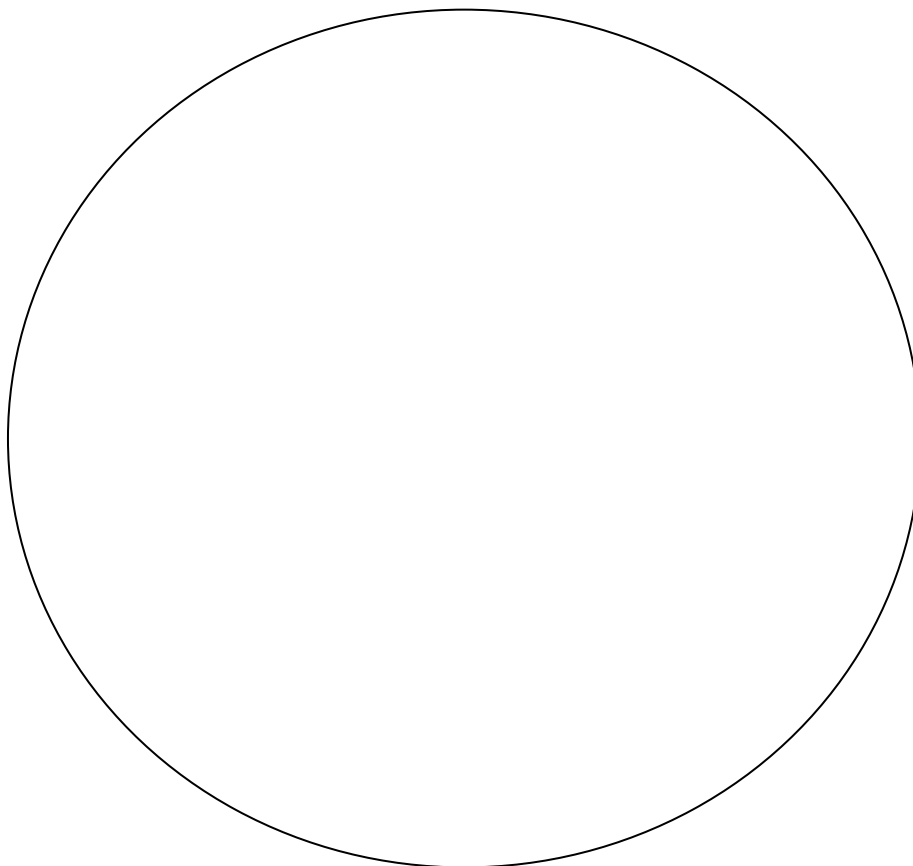
## Jupiter

Osnovni podaci o Jupiteru	
srednja udaljenost od Sunca	778 330 000 km (5,203 AJ)
u afelu	817 247 000 km
u perihelu	739 412 000 km
promjer	142 984 km (12 zemljinih)
spljoštenost	1:12
najmanji prividni promjer	30,4"
najveći prividni promjer	50,1"
masa	318 zemljinih
srednja gustoća	1,33 g/cm <sup>3</sup>
atmosfera	gusta i duboka, He, H <sub>2</sub>
period rotacije	0,41 dan
ophodni period	4332,71 dan
nagib osi rotacije prema stazi	3,13°
nagib staze prema ekliptici	1,31°
ekscentricitet staze	0,05
sila teža	2,529 zemljine
zvjezdana veličina (max)	-2,7

Jupiter je uz Saturn vjerojatno najopažaniji planet. Njegov disk je i u blizini konjunkcije dovoljno velik za opažanje i najmanjim teleskopima. Već i dalekozor pokazat će njegova četiri najsajnija satelita koji se po svojem otkrivaču nazivaju galilejevi sateliti. Oni vrlo brzo obilaze oko Jupitera pa se njihov položaj iz noći u noć mijenja. Mali teleskop pokazuje na jupiterovom disku svjetlije i tamnije pruge paralelne sa jupiterovim ekvatorom. To su vrhovi oblaka u gustoj jupiterovoj atmosferi koji su nošeni brzim vjetrovima. Vjetrovi zbog brze rotacije Jupitera pušu paralelno sa ekvatorom, vuku oblake za sobom i tako tvore svijetle i tamne pruge. Teleskop promjera desetak centimetara pokazat će Veliku crvenu pjegu, sjene satelita na jupiterovom disku i mnoštvo detalja uz rubove pruga i u njima. Zbog brze rotacije Jupiter je na polovima znatno spljošten što se lako vidi i sa manjim teleskopima. Stoga se kod crtanja Jupiterovog diska koristi posebna eliptična šablona čije osi su u omjeru 10:12.

Osim samog diska planeta, već i dvogled će pokazati četiri najveća jupiterova satelita. Njihovo brzo gibanje oko Jupitera uočljivo je već nakon sat ili dva. Iako Jupiter ima stotinjak poznatih satelita, svi su malog sjaja i uglavnom izvan dohvata amaterskih instrumenata.

Najsajjniji od njih, Amalthea, vrlo je blizu planetu pa zbog njegovog sjaja trebamo vrlo veliki amaterski teleskop da bi ga pokušali opaziti.



**Slika 36:** Eliptična šablona za crtanje jupiterovog diska. Ovu elipsu možete kod ispisa smanjiti na željenu veličinu, obično 5 do 7 cm. Možete ju i precrtati na karton i pažljivo izrezati pa ste dobili šablonu kojom je na crtači papir možete nacrtati onoliko puta koliko je potrebno.

Veći Jupiterovi sateliti					
br	ime	polumjer staze (km)	period (d)	promjer (km)	sjaj (m)
V	Amaltea	181 000	0,50	188	14,1
I	Io	422 000	1,77	3 630	5,0
II	Europa	671 000	3,55	3 138	5,3
III	Ganimed	1 070 000	7,16	5 262	4,6
IV	Kalisto	1 883 000	16,69	4 800	5,6

## Saturn

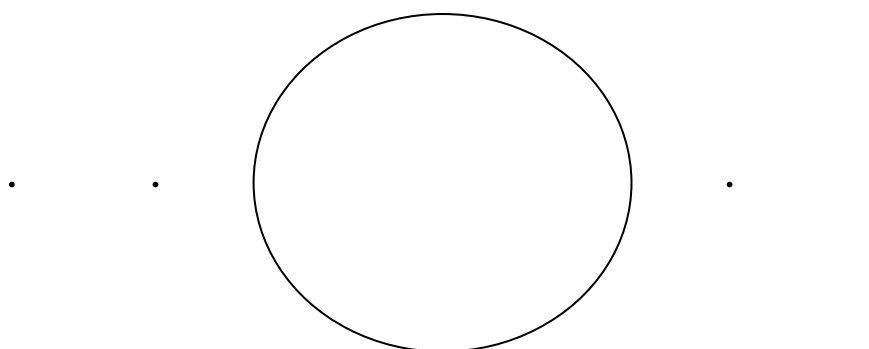
Osnovni podaci o Saturnu	
srednja udaljenost od Sunca	1 429 400 000 km (9,555 AJ)
u afelu	1 515 200 000 km
u perihelu	1 343 600 000 km
promjer	120 536 km (10 zemljinih)
spljoštenost	1:10
najmanji prividni promjer (planet/prsten)	15,0"/34,0"
najveći prividni promjer (planet/prsten)	20,9"/47,4"
masa	95 zemljinih
srednja gustoća	0,69 g/cm <sup>3</sup>
atmosfera	gusta i duboka, He, H <sub>2</sub>
period rotacije	0,47 dana
ophodni period	10 759,50 dana
nagib osi rotacije prema stazi	26,73°
nagib staze prema ekliptici	2,49°
ekscentricitet staze	0,06
sila teža	1,066 zemljine
zvjezdana veličina (max)	0,7

Zahvaljujući svojem prstenu, Saturn je najčešće opažani planet sunčevog sustava. Već i najmanji teleskop, ako je povećanje veće od dvadesetak puta, jasno pokazuje njegov prsten. Teleskopi promjera desetak centimetara i više pokazuju i najveću tamnu pukotinu u prstenu, nazvanu po njenom otkrivaču Kasinijeva (Cassini) pukotina. Prsteni se nalaze u ekvatorijalnoj ravnini planeta pa su prema saturnovoj stazi nagnuti za 26.7°. U toku jednog obilaska Saturna oko Sunca prividni nagib prstenova stalno se mijenja. Dva puta u toku saturnove godine ravnina prstenova poklopi se sa doglednicom pa prsteni na nekoliko dana potpuno nestanu iz vidika amaterskih teleskopa. Tada imamo priliku opažati sam Saturn, koji djeluje neobično bez svojih prstenova.

Pored prstenova veći teleskopi pokazuju pruge na saturnovom disku slične jupiterovima, ali znatno manjeg kontrasta. Saturn je još spljošteniji od Jupitera pa i za crtanje njegovog diska moramo upotrijebiti eliptičnu šablonu. Već i najmanji teleskopi pokazuju najveći saturnov satelit, Titan, a teleskopi promjera 10 do 20 cm mogu u povoljnim uvjetima pokazati još nekoliko saturnovih satelita, redom najčešće Reu, Dione Tetis i Japetus.

Saturn, kao i Jupiter, vrlo brzo rotira pa je osim najljepšeg i najspljošteniji planet sunčevog sustava sa spljoštenošću od čak 1:10 (osi šablone za crtanje su u omjeru 9:10!).

Veći Saturnovi sateliti					
br	ime	polumjer staze (km)	period (d)	promjer (km)	sjaj (m)
X	Janus	151 000	0,69	176	14,5
I	Mimas	186 000	0,94	392	12,9
II	Enceladus	238 000	1,37	500	11,7
III	Tethys	295 000	1,89	1 060	10,2
IV	Dione	377 000	2,74	1 120	10,4
V	Rhea	527 000	4,52	1 530	9,7
VI	Titan	1 222 000	15,95	5 150	8,3
VII	Hyperion	1 481 000	21,28	286	14,2
VIII	Iapetus	3 561 000	79,33	1 460	11,1



**Slika 37:** Eliptična šablona za crtanje saturnovog diska i prstena. Položaj vanjskog i unutarnjeg ruba prstena označen je točkicama.

## Uran

Osnovni podaci o Uranu	
srednja udaljenost od Sunca	2 870 990 000 km (19,19 AJ)
u afelu	3 014 600 000 km
u perihelu	2 727 500 000 km
promjer	51 118 km (4 zemljina)
najmanji prividni promjer	3,1"
najveći prividni promjer	3,7"
masa	14,5 zemljinih
srednja gustoća	1,27 g/cm <sup>3</sup>
atmosfera	gusta i duboka
period rotacije	0,72 dana retrogradno
ophodni period	30 685,0 dana
nagib osi rotacije prema stazi	97,86°
nagib staze prema ekliptici	0,77°
ekscentricitet staze	0,05
sila teža	0,903 zemljine
zvjezdana veličina (max)	5,5

U najpovoljnijim uvjetima Uran je moguće opaziti golim okom. Za takvo opažanje potrebna nam je detaljna zvjezdana karta i dobro opažачko mjesto, sa tamnim i jasnim nebom. Obično je potrebno opazati nekoliko dana kako bi se Uran sigurno prepoznao po svojem gibanju među zvijezdama. Već i mali dvogled omogućava ovakvo opažanje i u lošijim uvjetima. Amaterski teleskopi otvora većeg od 10 cm mogu uz veliko povećanje (150x i više!) razlučiti sićušni Uranov disk koji je zelenkaste boje. I u najpovoljnijim uvjetima ovaj disk je premalen da bi se na njemu vidjeli bilo kakvi detalji. Njegovi sateliti preslabog su sjaja da bi se vidjeli amaterskim teleskopima, osim ako im je promjer objektiva veći od četrdesetak centimetara!

Veći Uranovi sateliti					
br	ime	polumjer staze (km)	period (d)	promjer (km)	sjaj (m)
V	Miranda	130 000	1,41	472	16,5
I	Ariel	191 000	2,52	1 158	14,4
II	Umbriel	266 000	4,14	1 170	15,3
III	Titania	436 000	8,71	1 578	14,0
IV	Oberon	583 000	13,46	1 522	14,2

## Neptun

Osnovni podaci o Neptunu	
srednja udaljenost od Sunca	4 504 300 000 km (30,11 AJ)
u afelu	4 549 300 000 km
u perihelu	4 459 300 000 km
promjer	49 528 km (4 zemljina)
najmanji prividni promjer	2,1"
najveći prividni promjer	2,2"
masa	17,1 zemljinih
srednja gustoća	1,64 g/cm <sup>3</sup>
atmosfera	gusta i duboka
period rotacije	0,67 dana
ophodni period	60 190,0 dana
nagib osi rotacije prema stazi	29,6°
nagib staze prema ekliptici	1,77°
ekscentricitet staze	0,01
sila teža	1,096 zemljine
zvjezdana veličina (max)	7,8

Neptun je kao sićušnu zvjezdicu moguće opaziti tek većim dvogledom ili manjim teleskopom. Kao i kod Urana, teleskopi otvora objektiva većeg od desetak centimetara razlučuju njegov

sićušni plavičasti disk. Tek teleskopima promjera objektiva od 30 i više cm moguće je vidjeti njegov najsajjniji satelit, Triton (nemojte ga pomiješati sa saturnovim Titanom!).

Veći Neptunovi sateliti					
br	ime	polumjer staze (km)	period (d)	promjer (km)	sjaj (m)
I	Triton	355 000	-5,88	2 700	13,6
II	Nereid	5 513 000	360,13	360	18,7

## Pluton

Osnovni podaci o Plutonu	
srednja udaljenost od Sunca	5 913 520 000 km (39,53 AJ)
u afelu	7 391 900 000 km
u perihelu	4 435 100 000 km
promjer	2 340 km (1/5 zemljina)
prividni promjer	0,1"
masa	0,0022 (1/450) zemljine
srednja gustoća	2,02 g/cm <sup>3</sup>
atmosfera	samo oko perihela, vrlo rijetka
period rotacije	6,39 dana retrogradno
ophodni period	90800 dana
nagib osi rotacije prema stazi	122,52°
nagib staze prema ekliptici	17,15°
ekscentricitet staze	0,25
sila teža	0,069 zemljine
zvjezdana veličina (max)	13,6

Da bi se Pluton uopće mogao opaziti, potreban je teleskop promjera objektiva od oko 30 cm! No da bi ga se prepoznalo među mnoštvom zvjezdica sličnog sjaja potrebne su vrlo detaljne karte i praćenje njegovog gibanja u toku nekoliko noći za redom. Tek tada se sa sigurnošću može reći da smo vidjeli ovaj daleki svijet. Ni najveće povećanje ne može razlučiti sićušni plutonov disk, niti pokazati njegov najveći satelit, Haron.

Pluton se danas više ne svrtava među planete, već mu je dodijeljen status patuljastog planeta, kakvih na stazama iza Neptuna ima mnogo i stalno se otkrivaju novi. No jedini patuljasti planet, koje je moguće vidjeti amaterskim sretstvima, i to mnogo lakše nego Plutona, je Ceres, najveće tijelo u asteroidnom pojasu, i jedini patuljasti planet u njemu. Više o njemu i njegovom opažanju naći ćete u glavi o asteroidima.

Plutonov satelit Haron			
R (km)	period (d)	promjer (km)	sjaj (m)
20 000	6,39	1 260	15,5



## Zemlja

Osnovni podaci o Zemlji	
srednja udaljenost od Sunca	149 600 000 km (1 AJ)
u afelu	
u perihelu	
promjer	12 756 km
spljoštenost	1:298
masa	$5,98 \times 10^{24}$ kg
srednja gustoća	$5,52 \text{ g/cm}^3$
atmosfera	gusta, N <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
period rotacije	0,99 dana (23h 56m)
ophodni period	365,26 dana (1 godina)
nagib osi rotacije prema stazi	23,45°
ekscentricitet staze	0,02
sila teža	$9,806 \text{ ms}^{-2}$ (1 g)

Zemlja je naravno planet sunčevog sistema kao i svi ostali. Iako sa njenim opažanjem ne bismo trebali imati problema (samo se osvrnite oko sebe!), neki puta je potrebno znati njene astronomske podatke koji su dani u gornjoj tabeli. Podaci o Mjesecu nalaze se već u glavi posvećenoj njemu!

## MALA TIJELA SUNČEVOG SUSTAVA

### Meteori

**Tablica 13:** Najaktivniji meteorski rojevi kroz godinu. U drugoj koloni je vremenski period u kojem se mogu opaziti meteori određenog roja, u trećoj (max.) datum kad je roj najaktivniji a u zadnjoj približan broj meteora koji se može opaziti u jednom satu u idealnim uvjetima.

roj	vidljivost	maksimum	aktivnost
Kvadrantidi	1-5. siječnja	3. siječnja	120
Liridi	16-25. travnja	22. travnja	15
Eta akvaridi	19 travnja-28 svibnja	5. travnja	60
Južni eta akvaridi	12. srpnja-19. kolovoza	28. srpnja	20
Perzeidi	17. svibnja-24. kolovoza	12 kolovoza	200
Orionidi	2. listopada-7. studenog	21. listopada	20
Leonidi	14-21. studenog	17. studenog	100
Geminidi	7-17. prosinca	13. prosinca	110

Meteori su sitne čestice međuplanetarnog materijala koje u svom kruženju oko Sunca imaju nesreću da se sudare sa Zemljom. Prilikom ulaska u zemljinu atmosferu užare se i sagore u kratkotrajnom bljesku kojeg promatrač sa zemljine površine vidi kao meteor. Same čestice dok su još u svemirskom prostoru nazivaju se meteoroidi.

Većina meteoroida vrlo je malena. Tako je masa meteoroida koji se kod ulaska u zemljinu atmosferu pretvori u meteor prve zvjezdane veličine oko nekoliko miligrama! Meteoroidi uglavnom vuku porijeklo od kometa iako ima i meteoroida koji potiču od asteroida. Za vrijeme dok je komet daleko od Sunca, postoji samo njegova smrznuta jezgra sastavljena od leda i zamrznutih plinova pomiješanih s prašinom i komadima stijena. Kad se jezgra kometa približi Suncu, sunčevo ga zračenje jače zagrijava pa zamrznuti plinovi počinju isparavati. Ispareni plinovi napuštaju površinu jezgre i tvore veliki rep koji komete čini tako lijepima. Sjajni omot plinova oko same jezgre naziva se glava kometa. Isparavanje plinova oslobađa i čestice krutih tvari zarobljenih u njima pa i one odlaze u okolni prostor i postaju meteoroidi. Plinoviti rep vrlo brzo se rasplina u međuzvjezdanom prostoru, ali meteoroidi dugo ostaju u

blizini staze kometa obilazeći oko Sunca. Tek kroz nekoliko tisuća godina i oni se rasprše po čitavom sunčevom sustavu.

Dogodi li se da Zemlja na svom putu oko Sunca presiječe stazu nekog kometa ili prođe vrlo blizu nje, dolazi do sudara sa oblakom meteoroida. Tada dolazi do uleta tih čestica u Zemljinu atmosferu. Njihove brzine su vrlo velike (najčešće između 20 i 60 kilometara u sekundi) pa one kod ulaska u zemljinu atmosferu sagore ostavljajući pri tom svijetli trag na nebu koji nazivamo meteor.

Najviše meteora opaža se zato u trenucima kad Zemlja prolazi blizu staze nekog kometa. Kako se meteoroidi s vremenom lagano raspršuju oko kometne staze, veći broj meteora se može vidjeti i nekoliko dana ranije i kasnije. Kako svi ti meteoroidi putuju po približno paralelnim putanjama oko Sunca, promatrač sa zemljine površine opaža da svi meteori dolaze iz istog smjera. Zbog perspektive se čini da oni izlijeću iz jedne točke na nebeskom svodu (sjetite se željezničkih tračnica koje su paralelne a čini se da se u daljini spajaju). Točka na nebeskom svodu iz koje dolaze meteori naziva se radijant meteorskog potoka.

Kako se meteorski potok s vremenom raspršuje i gubi u međuplanetarnom prostoru, u međuplanetarnom prostoru postoje i meteoroidi koji su toliko raspršeni u svim smjerovima da im se ne može više odrediti pripadnost određenom nebeskom tijelu. Oni se stalno sudaraju sa Zemljom, ali je tih sudara relativno malo. Opažaču se čini da oni dolaze iz svih smjerova i ne može im odrediti potok kojem pripadaju. Takvi meteori nazivaju se sporadični meteori. U vedroj tamnoj noći bez mjesečine može ih se opaziti 5 do 10 na sat. Vrlo rijetko pogodi Zemlju i neki veći komad, mase nekoliko kilograma ili više. Takav meteor za sobom ostavlja vrlo svijetli trag i često završava eksplozijom ili raspadom na nekoliko dijelova. On se naziva bolid a ako je vrlo sjajan može se opaziti i danju. Vrlo rijetko dijelovi bolida ne sagore do kraja već padnu na zemljinu površinu. Ostaci meteora koji padnu na zemljinu površinu nazivaju se meteoriti.

Meteori se najbolje i najjednostavnije opažaju golim okom. Pri tome je najvažnije otići daleko od naselja, da se izbjegne svjetlosno onečišćenje. Iz istog razloga najbolje je za opažanje odabrati noći bez mjesečine. Na samom mjestu opažanja treba se utopli i naoružati strpljenjem. Opažanje se sastoji u tome da odaberemo dio neba koji ćemo gledati, a koji je obično 45 stupnjeva daleko od radijanta, po mogućnosti prema zenitu. Može se opažati i samo područje zenita, ili neki drugi dio neba, ako nam je to iz nekog razloga zgodnije. Sjedalica sa naslonom koji se daje spustiti, ležaljka ili vreća za spavanje je dobrodošlo pomagalo. Većina opažača meteora koristi vreće za spavanje jer se one najlakše nose po terenu. Pod vreću se stavlja prostirka od jačeg najlona a na nju tvrda spužva ili stiropor. Očekuje li se jača rosa, pokriva se vreća i odozgo najlonom. Ovakvo opažanje treba pažljivo pripremiti, pogotovo ako se opaža izvan naselja. Noći su i ljeti hladne, pa se u vreću uvlači obučen, često puta i u zimskoj jakni i sa zimskom kapom na glavi. Zimi se opaža sa lakše pristupačnih mjesta i po mogućnosti u većoj grupi. Opažanje se zimi prekida na prvi znak hladnoće jer se nepokretno tijelo vrlo lako i brzo pothladi.

Meteore možemo opažati i grupno, u grupama od nekoliko opažača. Tada svaki opažač promatra drugi dio neba kako bi se pokrio što je moguće veći dio nebeske polulopte. Jedan član grupe ne opaža meteore već zapisuje opažanja. Zapisničar se svaki sat može mijenjati,

kako bi svi imali priliku opažati. Opaženi meteori u ovakvom se slučaju upisuju u posebne formulare. Primjer prikladnog formulara dan je na zadnjoj stranici ovog teksta. Kod samostalnog opažanja, opažatelj ili sam ispunjava formular, ili vodi jednostavnije bilješke. Diktafoni i slične sprave sve se više koriste u tu svrhu jer one ne traže skretanje pogleda sa nebeskog svoda na papir.

U gornji dio formulara unose se podaci o datumu i mjestu opažanja, vremenskim uvjetima, procjenama granične zvjezdane veličine i opažateljima. U samom desnom gornjem uglu unosi se broj dotičnog formulara i ukupni broj formulara upotrebljenih kod opažanja. To sprječava da se jedan od listova zagubi, a da mi to ne primijetimo. Npr. List 2 od 3 znači da je pred nama drugi formular od ukupno 3 upotrebljena te noći. Ukupni broj formulara upisuje se naravno tek kad je opažanje završeno.

U donji dio formulara unose se podaci o opaženim meteorima. Redom se upisuje redni broj, (koji se može unijeti i naknadno) vrijeme kad je meteor opažen (točnost od 1 minute je dovoljna), njegova zvjezdana veličina, roj kojem pripada opaženi meteor (uz korištenje pokrata, npr. P za perzeide, S za sporadične meteore, i slično). Popis upotrijebljenih kratica dobro je pribilježiti na zadnjoj strani formulara da kasnije ne bi došlo do zabune. Ako opažanje vrši nekoliko opažatelja, u rubriku "napomene" unosi se broj koji je dodijeljen opažatelju koji je vidio meteor. Tu se upisuju i druge napomene (npr. trag, boja, bljesak na kraju i sl.) ako ih ima. Ako se za vrijeme opažanja rade pauze, njihov početak i kraj upisuje se preko cijelog reda tako da bude uočljiv.

Za vrijeme opažanja treba otprilike svaki sat napraviti pauzu od desetak minuta da se oči odmore, a kad se osjeti preveliki umor treba poći na spavanje. Jedan od najpogodnijih potoka za opažanje je potok Perzeida. Njegov maksimum pada oko 12. kolovoza a meteori iz tog potoka mogu se opaziti i nekoliko dana prije i poslije ovog datuma. U noći maksimuma moguće je opaziti stotinjak Perzeida na sat. Od ostalih poznatih potoka po jačini se ističu Kvadrantidi (maksimum 3. siječnja) i eta Akvaridi (maksimum 5. svibnja). Ovi posljednji potiču od svima nam poznatog Halleyevog kometa!

Na slijedećoj je stranici primjer formulara kakav se koristi za vizualno opažanje meteora. Slične formulare možete naći i na internetu, na stranicama organizacija koje se bave amaterskim praćenjem meteora, npr. međunarodne meteorske organizacije, IMO (International Meteor Organization, [www.imo.net](http://www.imo.net)).

[illegible]

## Kometi

Godišnje se prosječno otkrije nekoliko desetaka novih kometa. Uz njih se godišnje vraća i do desetak od prije poznatih kometa. Većina njih je vrlo slabog sjaja, ali svake je godine barem nekoliko na dohvat manjeg amaterskog teleskopa, a ponekad i dalekozora. Ni kometi vidljivi golim okom nisu toliko rijetki kao što se to čini, ali često ostanu neprimijećeni jer ne možemo pobjeći dovoljno daleko od svjetlosnog onečišćenja koje jako otežava njihovo opažanje.

Kad se komet prvi puta opazi teleskopom, najčešće izgleda kao mala magličasta mrljica. Ta se mrljica naziva glava kometa. U njoj se sredini ponekad može primijetiti i zvjezdolika jezgra. Kako je jezgra kometa vrlo malena, najviše nekoliko kilometara u promjeru, ona je u našim teleskopima uvijek zvjezdolika. Jezgra je sastavljena od preostale građe sunčevog sustava. U doba kad je nastajao sunčev sustav većina tog materijala potrošena je na stvaranje planeta. Ono što se sačuvalo do danas uglavnom se nalazi daleko iza plutonove staze u tzv. Oortovom oblaku za koji se smatra da se sastoji od bezbroja nebeskih tijela različitih veličina. Tu ima mnoštvo mikroskopski sitnih čestica ali i planina velikih po nekoliko desetaka kilometara.

Te su čestice građene od zamrznutih plinova, uglavnom vode, metana, amonijaka i sličnih tvari, pomiješanih sa česticama međuplanetarne prašine. Sve skupa po izgledu i čvrstoći nalikuje zamazanoj grudi snijega. Zbog velike hladnoće u tim dalekim prostorima sunčevog sustava, tijela u Oortovom oblaku potpuno su zamrznuta. Kako su uz to prilično malena sa Zemlje ih ne možemo opaziti. Ponekad dođe do poremećaja njihovih staza oko Sunca, pa poneko od njih biva ubačeno u unutrašnjost sunčevog sustava, prema Suncu i njegovoj toplini. Takvo tijelo postaje novi komet. Otprilike na udaljenosti Saturna počinje se znatnije zagrijavati, pa zamrznuti plinovi počinju isparavati sa njegove površine. Ispareni plinovi napuštaju površinu kometa i vrlo brzo stvore oblak plina koji okružuje komet. Samo tijelo kometa naziva se sad jezgra kometa, a sjajni omot plinova koji isparavaju sa jezgre i oko nje tvore oblak plina prašine koji se naziva koma (na hrvatskom ponekad i glava). Privlačna sila jezgre vrlo je malena i ne može isparene plinove zadržati u svojoj blizini već oni bježe u okolni prostor. Zato iza jezgre ostaje dugi plinoviti rep koji raste sa približavanjem kometa Suncu. Isparavanje plinova iz jezgre oslobađa i čestice prašine zarobljene u njoj pa i one odlaze u rep kometa. Pritisak sunčevog zračenja okreće plinoviti rep od Sunca, dok prašina ostaje na stazi kometa. Zato se kod mnogih kometa mogu opaziti dva razdvojena repa. Rep kometa najveći je kad se komet nalazi u blizini perihela jer ga tu Sunce najjače grije i zamrznuti plinovi sa njegove površine najbrže isparavaju. Kad se komet po svojoj stazi opet počne udaljavati od Sunca, rep polagano nestaje i uskoro se potpuno izgubi.

Kad novi komet prvi puta iz Oortovog oblaka dođe u blizinu Sunca, kreće se po vrlo izduženoj stazi koja može svakako stajati u prostoru. Period obilaska oko Sunca vrlo je dug i mjeri se stotinama ili čak tisućama godina. Vrlo rijetko pojave se kometi na hiperboličnim stazama, koji nakon prolaska pokraj Sunca zauvijek nestanu u međuzvjezdanom prostoru. No većina kometa putuje po eliptičnim stazama i vraća se u unutrašnjost Sunčevog sustava mnogo puta. Ti se kometi nazivaju periodični kometi. Ako ih njihova staza dovede u blizinu

nekih planeta, posebno Saturna ili Jupitera, privlačenje tog planeta znatno im mijenja stazu. Neki kometi pri tome budu izbačeni iz sunčevog sustava, neki ubačeni u novu stazu kraćeg perioda u blizini ravnine ekliptike, a neki završe svoj put sudarom sa nekim od tijela sunčevog sustava, kao npr. komet Shoemaker-Levy koji se 1994. sudario sa Jupiterom. Kometi ubačeni u stazu kraćeg perioda nazivaju se kratkoperiodični kometi. Njihovi periodi sada se mjere godinama pa su oni česti gosti na noćnom nebu. Najpoznatiji kratkoperiodični komet je svakako Halejev komet koji nam se vraća svakih 76 godina. No tu su i mnogi drugi koji vraćaju i mnogo češće, npr. Enckeov komet koji prolazi perihelom svake 3,3 godine.

Kako kod svakog prolaska perihelom dio tvari jezgre ispari, s vremenom se količina hlapljivih plinova u jezgri smanjuje. Nakon nekog vremena komet postane neaktivan i tada ga više nije moguće razlikovati od asteroida. Sjaj i veličina kometa kakvim ga sa Zemlje vidimo na noćnom nebu ovisi ponajprije o udaljenosti kometa od Sunca i od Zemlje. O udaljenosti od Sunca ovisi kako brzo isparavaju plinovi jezgre, a od udaljenosti od Zemlje da li će nam komet izgledati veći i sjajniji ili pak manji i slabijeg sjaja. O sastavu jezgre ovisi koliko plinova još uopće može ispariti i da li će to isparavanje biti jednolično ili ne. Zbog svega toga vrlo je teško predvidjeti kako će se razvijati sjaj i veličina nekog kometa, pogotovo onog koji je po prvi puta opažen. Često se dogodi da komet iznevjeri predviđanja i bude znatno slabijeg sjaja, ili pak obratno, nakratko naglo postane blještavi ukras noćnog neba. Sjetimo se samo kometa Kohoutek koji je 1974. bio najavljivani kao pravi nebeski spektakl da bi na kraju jedva bio vidljiv amaterskim teleskopom. Pa i Halejev komet je u svojem nedavnom posjetu bio nešto tamniji nego što su to astronomi očekivali. Ali je zato komet Holmes krajem 2007. preko noći povećao sjaj gotov milijun puta i nakon toga bio tjednima vidljiv golim okom čak i iz većih gradova. Zato sa najavama spektakularnih kometa uvijek treba biti oprezan.

## Opažanje kometa

Za većinu kometa bit će nam potreban barem manji teleskop da ih opazimo. Uz to nam je potrebna i detaljna karta sa ucrtanom položajem kometa za trenutak opažanja. Na karti trebaju biti prikazane zvijezde sjaja približno jednakog sjaju kometa, a bolje je ako su ucrtane i zvijezde barem za jednu zvjezdanu veličinu slabijeg sjaja. Uz to je dobro da su ucrtane i sve poznate maglice koje bismo inače mogli zamijeniti za komet. Kometi uglavnom nisu vidljivi golim okom pa ih moramo tražiti metodom skoka sa zvijezde na zvijezdu. Pri tome i ovdje koristimo malo povećanje. Kad smo našli mjesto gdje se komet treba nalaziti provjerimo prvo da slučajno ne opažamo neku obližnju maglicu. Upravo problemi sa maglicama koje je stalno zamjenjivao sa kometima natjerali su slavnog Messiera da sastavi svoj poznati katalog maglica. Mnogi kometi slabijeg sjaja izgledaju vrlo slično galaksijama ili nerazlučenim kuglastim skupovima. Opažanje maglica je zato dobra vježba za opažanje kometa jer ćemo sa tako stečenim iskustvom lakše razlikovati komet od maglice. Ako je komet vrlo slabog sjaja, neće imati rep a i koma može biti vrlo slabo izražena. No komet ćemo sa sigurnošću prepoznati po njegovom gibanju po nebeskom svodu. Većina kometa tako se brzo pomiče po nebeskom svodu da je promjena njihovog položaja primjetna već nakon sat-dva opažanja. Kad su blizu Zemlje, ovo gibanje može biti i znatno brže.

Kad smo pronašli naš komet, možemo slobodno upotrijebiti i veće povećanje, posebno ako se radi o kometu vrlo slabog sjaja. Tako ćemo ga lakše razlikovati od okolnih zvijezda. Sad skiciramo okolne zvijezde i pažljivo ucrtamo položaj našeg objekta prema njima. Ovo ponovimo nakon pola sata do sat vremena. Ne pomakne li se naš objekt primjetno nakon sat ili dva opažanja, možemo biti prilično sigurni da se ne radi o kometu već o nekoj maglici.

Sjajnije komete moguće je opažati i dvogledom, a neke i golim okom. Za ovakvo opažanje je najvažnije biti daleko od bilo kakvog svjetlosnog onečišćenja i imati vedru i jasnu noć. Već i manje svjetlosno onečišćenje može najveći dio slabašnog repa kometa učiniti nevidljivim. Npr. komet Hjakutake je iz Zagreba jedva bio vidljiv golim okom kao mrljica promjera oko pola stupnja, a u dvogledu je bilo moguće vidjeti samo najsajjniji dio repa dug nekoliko stupnjeva. Istovremeno su opažači sa dobrih mjesta javljali o repu dugom devedesetak stupnjeva koji je zabilježen i na fotografijama. Oni su vidjeli komet u svojoj njegovoj ljepoti i veličini dok je stanovnicima velikih gradova svjetlosno onečišćenje potpuno oduzelo tu mogućnost.

Ako je komet većeg sjaja, možemo pokušati kod većeg povećanja opažati detalje u njegovoj glavi. Ponekad je moguće vidjeti mlazove materijala koji iz glave odlaze u komu i rep. U tim slučajevima se izgled glave kometa mijenja iz sata u sat. Ove promjene možemo i crtati, koristeći isti postupak kao za crtanje maglica.

## Opazanje asteroida

**Tablica 14:** Podaci o nekoliko najvećih asteroida.

Ime	Polumjer staze (AJ)	Period (god)	Promjer (km)	Masa ( $\times 10^{18}$ kg)	Period rotacije (h)
Ceres	2,77	4,60	939	938	9,07
Vesta	2,36	3,63	525	259	5,34
Pallas	2,77	4,62	511	204	7,81
Hygiea	3,14	5,56	433	87	13,8

U prostoru između Marsa i Jupitera se nalazi tzv. asteroidni pojas u kojem oko Sunca kruže stotine tisuća sitnih nebeskih tijela. Neka od njih imaju i nekoliko stotina kilometara u promjeru, no većina ih je znatno manja. Vjeruje se da je to materijal od kojeg bi nastao još jedan planet da obližnji Jupiter svojom gravitacijom nije stalno remetio staze asteroida i tako ih spriječio da se sakupe u veće nebesko tijelo.

Gledani teleskopom asteroidi izgledaju kao obične zvjezdice. Od njih ih razlikuje tek njihovo gibanje po nebeskom svodu. Odatle dolazi i njihovo ime, koje otprilike ima značenje "zvjezdoliki". Iako se najsajjniji asteroid, Vesta, u najpovoljnijim uvjetima može nazrijeti golim okom, za opažanje asteroida nam je neophodan dalekozor ili teleskop. Pri tome ih



moramo tražiti metodom skoka sa zvijezde na zvijezdu uz pomoć detaljnih karata. Ove karte moraju pokazivati zvijezde sjaja sličnog asteroidu, ili čak i malo slabijeg sjaja. Na jednoj takvoj karti je ucrtana prividna staza asteroida sa označenim položajima u određena vremena, obično svakodnevno za 0 sati svjetskog vremena. Uz pomoć karte moramo teleskopom naći mjesto gdje se asteroid nalazi. Tada skiciramo vidno polje instrumenta i ucrtamo sve zvijezde u njemu, zajedno sa onom za koju mislimo da je naš asteroid. Opažamo li dvogledom, moramo opažanje ponoviti pred kraj noći ili slijedeću noć, a kod opažanja sa većim povećanjima moguće je pomicanje asteroida primijetiti već nakon sat-dva vremena. Kod ponovljenog opažanja moramo naći isto vidno polje i usporediti raspored zvijezda u njemu sa našom skicom. Ako se naša zvjezdica pomakla, ucrtamo njen novi položaj na istu skicu. Tek tada možemo biti sigurni da smo opazili traženi asteroid. Ne treba ni napominjati da je pažljivo i točno crtanje kod ovakvih opažanja nužno.

Mnogi od vas će se zapitati u čemu je zapravo užitak opažanja asteroida. Općeniti je odgovor teško dati, no ima mnogo amatera koji se bave isključivo opažanjem asteroida. Nekima je veselje jednostavno pronaći sićušnu zvjezdoliku točkicu koja se lagano šeće zvjezdanim svodom, neki pokušavaju opaziti što je moguće više poznatih asteroida, ili barem sve one koje njihov teleskop može pokazati, a neki idu i mnogo dalje od toga te sistematskim praćenjem određenog asteroida i određivanjem njegovog sjaja metodom koja se inače koristi za promjenjive zvijezde pokušavaju odrediti njegov period rotacije. Da i ne spominjemo one imućnije koji malo većim teleskopima i modernim CCD kamerama uporno traže nove asteroide. Svatko od nas mora sam odlučiti dopada mu li se opažanje asteroida ili će se radije zabaviti opažanjem nekih drugih objekata. No napomenimo da je velika prednost asteroida ta da kod njihovog opažanja svjetlosno onečišćenje ne smeta, osim što naravno smanjuje graničnu zvjezdanu veličinu i sjaj najslabijih asteroida koje još možemo opaziti.

Recimo još da je najveći asteroid, Ceres, danas “unaprijeđen” u status planeta, a uz Pluton je jedini patuljasti planet koji je moguće opaziti amaterskim instrumentima. Pri tome je za opažanje Plutona potreban teleskop od najmanje 20 ili 25 cm, dok je za Ceres dovoljan i običan dvogled.

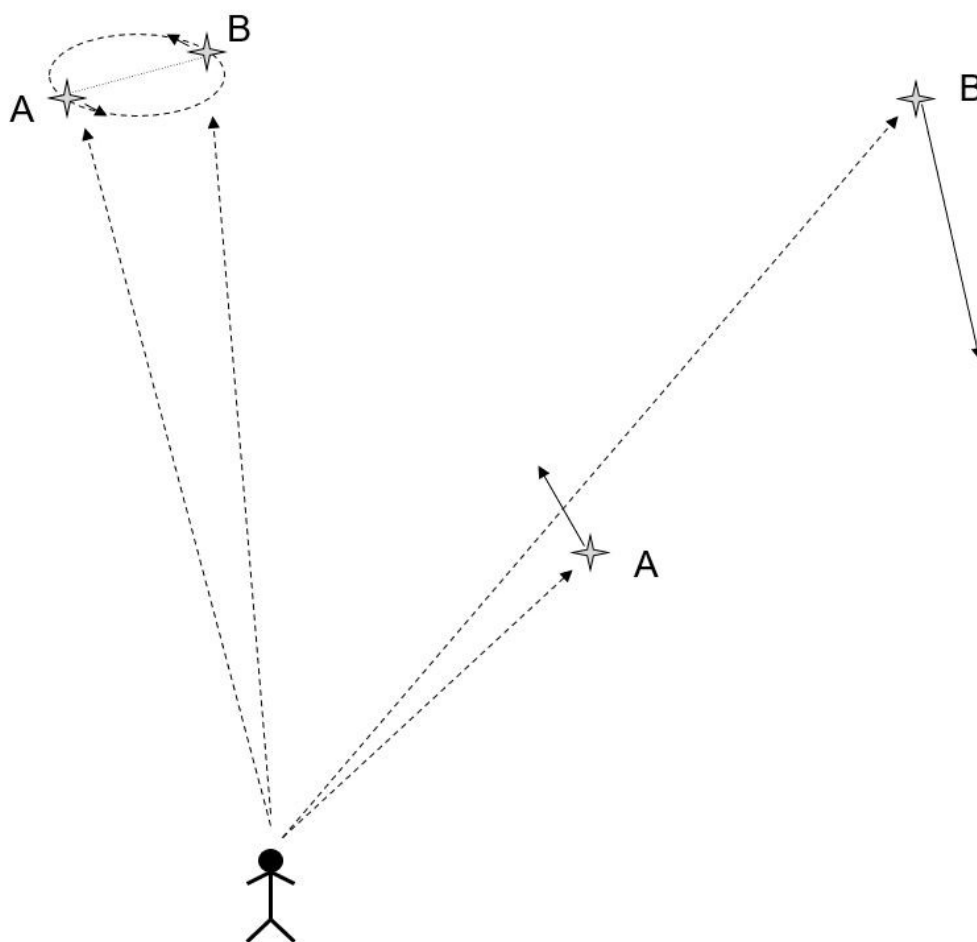
Danas je poznato mnoštvo patuljastih planeta, i stalno se otkrivaju novi, ali svi su oni jako daleko do Sunca, iza Plutonove staze pa i mnogo dalje.

**Tablica 15:** Osnovni podaci o nekim astroidima čija imena su povezana sa Hrvatskom.

Redni br.	Ime	Otkrivač i godina otkrića
142	Polana	Palisa 1875 Pula
143	Adria	Palisa 1875 Pula
183	Istria	Palisa 1878 Pula
589	Croatia	Kopff 1906 Heidelberg
803	Picka	Palisa 1915 Beč
1550	Tito	Protić 1937 Beograd
1554	Yugoslavia	Protić 1940 Beograd
2244	Tesla	Protić 1952 Beograd
9244	Višnjan	Korlević i Radovan 1998 Višnjan
9429	Poreč	Korlević 1996 Višnjan
10201	Korado	D'Isos 1997 Italija
11604	Novigrad	Korlević i Brčić 1995 Višnjan
12584	Željkoandrić	Korlević 1999 Višnjan
14361	Boskovich	1988 Bologna Osservatorio San Vittore
24645	Segon	E. Bowell 1985 the Anderson Mesa Station of the Lowell Observatory.
202930	Ivezic	Sloan 1998 Sloan Digital Sky Survey at the Apache Point Observatory USA

## OPAŽANJE ZVIJEZDA I MAGLICA

### Dvojne zvijezde



**Slika 38:** Fizički dvojni zvjezdu (lijevo) čine dvije zvijezde koje kruže jedna oko druge. Optički dvojni zvjezdu (desno) nasuprot tome čine dvije međusobno neovisne zvijezde koje se na nebeskom svodu slučajno vide jedna uz drugu.

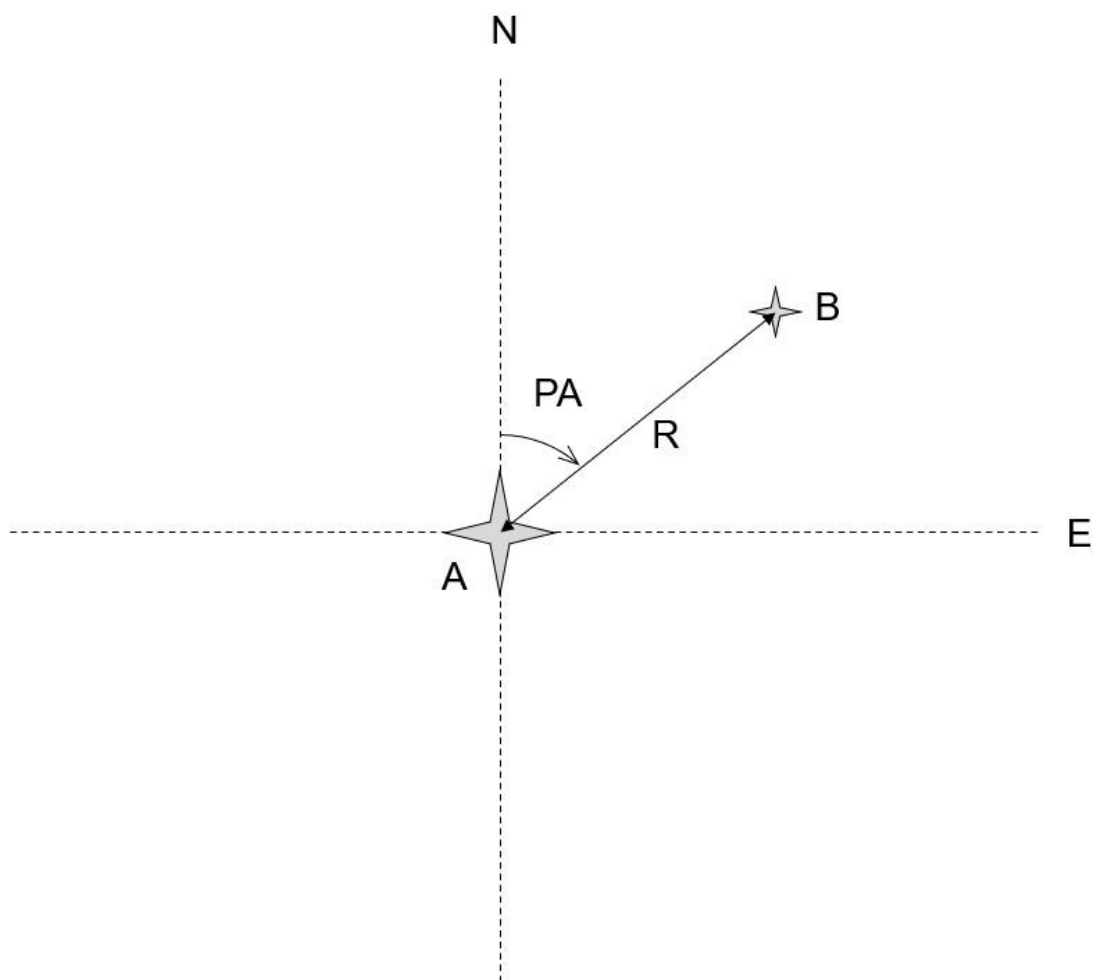
U doba kad su otkrivane, dvojnim zvjezdama se smatralo sve parove zvijezda koje su na nebeskom svodu bile bliske jedna drugoj. Kasnije je ustanovljeno da su neke od njih zaista

povezane, da kruže jedna oko druge i zajedno putuju kroz svemir. Takve su dvojne zvijezde nazvane fizički dvojne zvijezde. Kad astronomi govore o dvojnim zvijezdama, misle na fizički dvojne zvijezde. S druge strane, za opažače postoje i optički dvojne zvijezde. To su dvije zvijezde koje nemaju ništa zajedničkog, već se na nebeskom svodu slučajno vide vrlo blizu jedna drugoj. U stvarnosti se one nalaze na različitim mjestima u prostoru i nisu međusobno povezane.

Dvije zvijezde koje čine dvojni zvijezdu nazivaju se njenim komponentama. Prividni razmaci između komponenti dvojne zvijezde mogu biti vrlo različiti. Neki su toliko veliki da ih je moguće razlučiti golim okom, a neki su tako maleni da ih ni najveći teleskopi svijeta ne mogu razlučiti. Kod dvojnih zvijezda koje se mogu razlučiti golim okom obično se radi o optički dvojnim zvijezdama. One su često označene grčkim slovima sa malom brojkom desno gore, kao da se to slovo "potencira". Tako se pojedine zvijezde koje čine par  $\alpha$  Jarca označavaju sa  $\alpha^1$  Cap i  $\alpha^2$  Cap. Ipak, obje nose isto vlastito ime, Algiedi, što je i inače čest slučaj kod dvojnih zvijezda sa vlastitim imenima.

Zvijezde mogu biti i višestruke. Tako je Mizar, srednja zvijezda u rudu Velikih kola, šesterostruka zvijezda! Njen najudaljeniji pratioc može se razlučiti golim okom i ima vlastito ime: Alkor (što u prijevodu približno znači Jahač). Ovaj su par stari arapi koristili kao test oštine vida. Manji teleskop pokazuje da je Mizar također dvojna zvijezda. Dvije zvijezdice koje takav mali teleskop pokazuje označavaju se velikim slovima abecede, dakle Mizar A i Mizar B, ili, ako upotrijebimo označavanje grčkim slovima i kraticom zvijezda,  $\zeta$  UMa A i  $\zeta$  UMa B. U pravilu sjajnija zvijezda para nosi oznaku "A" a slabija zvijezda oznaku "B". Analizom njihova svjetla (tzv. spektroskopska analiza) ustanovljeno je da je svaka od tri zvijezde koje čine trojni sustav Mizar-Alkor sama po sebi također dvojna zvijezda. Takve dvojne zvijezde, koje se ne mogu direktno razdvojiti već su otkrivene posredno putem analize njihova svjetla, nazivaju se spektroskopski dvojne zvijezde.

Golim okom moguće je razdvojiti desetak dvojnih zvijezda. One vidljive iz naših krajeva navedene su u tablici 16. Neke od njih je lako razdvojiti, a neke izuzetno teško. Kod njih si bez griznje savjesti možemo pomoći dvogledom. Već i mali dvogled pokazat će mnogo više dvojnih zvijezda. Ograničimo li se samo na zvijezde vidljive golim okom, dvogled će oko pedesetak njih razdvojiti u parove. Uključimo li tu sve zvijezde slabijeg sjaja koje možemo vidjeti dvogledom, broj dostupnih dvojnih zvijezda penje se na nekoliko stotina. Mali teleskop pokazat će oko dvije stotine dvojnih zvijezda sjajnijih od 6. veličine, a ako uključimo i one slabijeg sjaja, broj se već penje na više tisuća.



**Slika 39:** Oznake i mjere dvojne zvijezde. Kod dvojnih zvijezda sjajnija se komponenta označava slovom "A" a ona slabijeg sjaja slovom "B". Položaj zvijezde B uvijek se određuje prema komponenti A. Razmak dviju zvijezda ( $R$ ) mjeri se u lučnim sekundama, a pozicioni kut ( $PA$ ) u stupnjevima i to od smjera sjevera preko smjera istoka od  $0^\circ$  do  $360^\circ$ .

Podaci o dvojnim zvjezdama obično se nalaze u raznim tablicama u priručnicima za opažanje, ili u posebnim popisima i katalozima dvojnih zvijezda. U svim tim tablicama navodi se prvo ime ili oznaka zvijezde i njene koordinate na nebeskom svodu. Zatim slijede zvjezdane veličine pojedinih komponenti koje se obično označavaju sa  $m_A$  i  $m_B$ . Slijedeći važan podatak je kutna udaljenost između zvijezda u paru koja se obično daje u kutnim sekundama, a samo ponekad kod vrlo velikog razmaka u kutnim minutama. Nadalje se navodi tzv. pozicioni kut koji opisuje smjer u kojem na nebeskom svodu leže komponente dvojne zvijezde. Na kraju se po neki puta navodi godina na koju se podaci iz tablice odnose. To je obično godina u kojoj su ti podaci izmjereni ili godina za koju su iz već poznatih mjerenja ti podaci izračunati.

## Nalaženje i opažanje dvojnih zvijezda

Nalaženje sjajnijih dvojnih zvijezda ne predstavlja poseban problem. One koje ne možemo vidjeti golim okom moramo potražiti našim instrumentom. Tu se opet služimo metodom skoka sa zvijezde na zvijezdu. To znači da traženje takve dvojne zvijezde moramo unaprijed pripremiti uz pomoć zvjezdane karte.

Kad je dvojna zvijezda pronađena, započinje njeno opažanje. Ovisno o njenom razmaku, ona može biti razdvojena i sa malim povećanjem, sa kojim smo ju pronašli. Ako je razmak komponenti malen, moramo upotrijebiti veće povećanje. Ako je razmak blizu granice razlučivanja našeg instrumenta, potrebno povećanje je vrlo veliko i nalazi se na gornjoj granici upotrebljivih povećanja, dakle oko  $3D$  ( $D$  u mm). Kod teleskopa otvora većeg od 7-8 cm titranje zraka često puta bit će preveliko a slika nemirna i neoštra, pa zvijezdu nećemo moći razdvojiti. U tom slučaju morat ćemo pričekati bolje vremenske uvjete. Ako se sjajevi komponenti znatno razlikuju, sjajnija komponenta će nas zaslijepiti pa će dvojni zvijezdu biti mnogo teže razlučiti nego ako su komponente približno jednakog sjaja. Granica razlučivanja za takve dvojne zvijezde može biti i nekoliko puta veća od teoretske granice razlučivanja našeg instrumenta. Razlog leži u tome da nas sjajnija zvijezda zaslijepljuje svojim sjajem, pa slabe zvijezde u njenoj neposrednoj blizini ne možemo uočiti. Već razlike u sjaju od samo jedne magnitude znatno otežavaju razdvajanje bliskih dvojnih zvijezda. Mnogi amateri upravo u tome vide izazov i veliko zadovoljstvo kad jednu takvu blisku dvojni zvijezdu konačno uspiju razlučiti. Posebni dodatak veselju su dvojne zvijezde čije komponente su različite boje. Blizina druge zvijezde znatno pojačava osjećaj boje, pa razliku u boji između dvije bliske zvijezde doživljavamo većom nego što to ona u stvarnosti je. Često puta vidimo i boje koje zapravo nisu moguće, npr. zelenkaste nijanse. Dobar primjer lijepog kontrasta boje je dvojna zvijezda Albireo u glavi Labuda koju se može razdvojiti već sa povećanjem od dvadesetak puta. Sjajniju zvijezdu ovog para većina opažača opisuje kao žutu ili narančastu, dok se slabijoj zvijezdi pripisuje neka nijansa zelene boje. Kod raznih parova pojavljuju se sve moguće kombinacije boja, koje svaki opažač vidi malo drugačije. To dolazi od toga što se u stvari radi samo o nijansama, a ne o izrazitim bojama, pa male prirodne razlike između očiju pojedinih opažača dolaze do izražaja. Često je moguće doživjeti te razlike opažajući naizmjenice jednim i drugim okom! Ako je teleskop nešto veći a zvijezde sjajne, može se dogoditi da nas njihov sjaj zaslijepi pa boje vidimo lošije. U tom slučaju malo pokvarimo oštrinu slike tako da zvijezde izgledaju kao mali krugovi. Boju malih krugova je mnogo lakše primijetiti od boje sitnih točkica.

Dodajmo na kraju da je opažanje dvojnih zvijezda moguće i kad jaka mjesečina ili svjetlosno onečišćenje potpuno onemogućuje opažanje nebeskih objekata slabog sjaja. Dvojnimi zvjezdama svjetlo nebo ne smeta, dapače može istaknuti njihove boje, jer kontrast između svijetlih zvijezda i pozadine neba više nije tako velik.

**Tablica 16:** Dvojne zvijezde koje se mogu razdvojiti golim okom ili malim dvogledom, vidljive iz naših krajeva. Uz ekvatorske koordinate (RA=rektascenzija, DE=deklinacija) dani su i sjajevi komponenti,  $m_1$  i  $m_2$  i njihov razmak u lučnim minutama.

Ime	RA	DE	$m_1$	$m_2$	d
$\kappa$ Tau	4h 25,3m	+22° 17'	4,4	5,4	5,7'
$\theta$ Tau	4 28,6	+15 52	3,6	4,0	5,6
$\sigma$ Tau	4 39,2	15 54	4,8	5,2	7,2
11-12 Cam	5 6,5	+59 1	5,2	6,1	3,0
$\theta$ Ori	5 35,4	-5 25	4,9	5,0	2,3
$\nu$ Pup	7 18,3	-36 43	4,7	5,1	4,0
$\zeta$ Leo	10 16,6	+23 26	3,6	5,9	5,4
$\zeta$ UMa	13 23,9	+54 56	2,1	4,0	11,8
$\alpha$ Lib	14 50,8	-16 1	2,9	5,3	3,9
$\nu$ CrB	16 22,4	+33 47	5,4	5,3	6,1
16 Dra	16 36,3	+52 55	5,6	5,6	1,5
$\mu^{1,2}$ Sco	16 51,9	-38 3	3,0	3,6	5,8
$\nu$ Dra	17 32,1	+55 10	5,0	5,0	1,0
$\varepsilon$ Lyr	18 44,3	+39 40	4,6	4,9	3,4
$\beta^{1,2}$ Sgr	19 22,9	-44 38	4,0	4,3	21,7
$\alpha^1$ Cyg	20 13,6	+46 44	3,8	5,0	5,6
$\alpha^{1,2}$ Cyg	20 14,5	+47 15	3,8	4,0	63
$\alpha^{1,2}$ Cap	20 18,0	-12 32	3,8	4,2	6,3
$\omega^{1,2}$ Cyg	20 30,0	+49 5	5,0	5,4	22
$\beta$ Del - $\zeta$ Del	20 36,0	+14 38	3,6	4,7	33
$\gamma$ Equ	21 10,4	+10 8	4,8	6,0	5,9
$\delta^{1,2}$ Gru	22 29,3	-43 30	4,0	4,1	16,1

## Crtanje dvojnih zvijezda

Crtanje dvojnih zvijezda znatno je jednostavnije od crtanja planeta ili Mjeseca. Na papiru nacrtamo krug promjera 5 do 10 cm koji nam predstavlja vidno polje našeg teleskopa. U taj krug pažljivo ucrtamo položaj svih komponenti dvojne zvijezde i okolne zvijezde, pazeći pri tome da sjajnije zvijezde nacrtamo kao veće, a slabije kao manje kružiće. Kako crtamo crnom olovkom na bijelom papiru, bit će zvijezde naravno crni krugovi različitih veličina. Ako opažamo vrlo velikim povećanjem i vidimo ogibne slike pojedinih zvijezda, svakako ucrtajmo i ogibne prstenove oko njih, naravno ako su vidljivi. Na kraju označimo smjer istoka i smjer sjevera na skici. Smjer sjevera odredimo tako da teleskop malo pomaknemo u smjeru Sjevernjače. Nove zvijezde tada ulaze u vidno polje na njegovoj sjevernoj strani, a stare izlaze na južnoj. Istočni dio odredimo tako da opažamo kako zbog prividne vrtnje nebeskog svoda zvijezde putuju kroz vidno polje. Zvijezde kod toga ulaze u vidno polje na istočnoj a izlaze na zapadnoj strani vidnog polja!

Vrlo lijepe slike možemo izraditi ako zvijezde ucrtamo tvrdom olovkom kao kružiće koje kasnije obojimo u skladu sa opaženim bojama komponenti dvojne zvijezde. Nakon toga možemo cijelo vidno polje, osim samih zvijezda, obojiti u crno. Skice opažanja možemo naravno kasnije i precrtati i urediti uz pomoć bilo koje slikarske tehnike koja nam se sviđa. Pri tome naravno moramo paziti da i takva slika odgovara onome što je viđeno u okularu.

## Promjenjive zvijezde

Zvijezde nisu nepromjenjive kao što se to na prvi pogled čini. Neke od njih s vremenom mijenjaju svoj sjaj, ponekad samo za djelić magnitude a neke i za desetak magnituda. Takve nestalne zvijezde nazivaju se promjenjive zvijezde. Kod nekih promjenjivih zvijezda promjene sjaja su pravilne i ponavljaju se sa stalnim vremenskim periodom koji se naziva period promjene sjaja ili, kraće, period promjenjive zvijezde. Ima i zvijezda čije promjene sjaja ne pokazuju nikakvu periodičnost. One se nazivaju nepravilno promjenjive zvijezde. Iznos za koji se sjaj promjenjive zvijezde mijenja naziva se amplituda promjenjive zvijezde. Uz to se često navodi njen najmanji sjaj (minimum sjaja) i najveći sjaj (maksimum sjaja). Promjenjive zvijezde pogodne za amatersko opažanje moraju imati amplitudu veću od nekoliko desetina magnitude. Promjenjive zvijezde se dijele u mnoštvo skupina od kojih su najpoznatije slijedeće:

## Pomrčinski promjenjive zvijezde

Kad staza dvojne zvijezde leži u ravnini doglednice, u toku kruženja jedna zvijezda prolazi ispred druge i obratno. U tom času ukupni sjaj zvijezde opadne. Pojedine zvijezde ovakvog para ne možemo razdvojiti teleskopima jer su preblizu jedna drugoj pa ih kao dvojne prepoznamo po načinu promjene sjaja. Periodi promjene sjaja kod ovih zvijezda mogu



trajati nekoliko sati, dana ili mjeseci, pa i više desetaka godina. Najpoznatiji primjeri ovakvih promjenjivih zvijezda su Algol u Perzeju i  $\beta$  Lire.

## Cefeide

Zvijezda u određenim trenucima svojeg razvoja može izgubiti unutarnju ravnotežu. Tada može doći do pulsiranja same zvijezde. To se ne događa svim zvijezdama, već zvijezdama određene mase i starosti. Zvijezda tada pravilno mijenja svoj volumen, tj. povećava se ili smanjuje. Pulsacije su vrlo pravilne i uz to zvijezda određene veličine uvijek pulsira sa istim periodom. Poznavajući ovo pravilo, možemo iz prividne zvjezdane veličine cefeide i njenog perioda odrediti udaljenost cefeide od nas. Cefeide su zato izuzetno važne jer služe za određivanje udaljenosti u svemiru. Period promjene sjaja cefeida je između nekoliko dana i nekoliko tjedana, a amplituda od nekoliko desetina do oko dvije zvjezdane veličine. Svoje ime cefeide su dobile po najpoznatijoj zvijezdi ovog tipa,  $\delta$  Cefeja.

## Dugoperiodično promjenjive zvijezde

Dugoperiodične zvijezde sjaj također mijenjaju zbog pulsiranja same zvijezde. Ovdje se radi o starim, relativno hladnim zvijezdama. Period promjene sjaja se mjeri mjesecima ili čak i godina, a amplituda može biti i veća od desetak magnituda. Ni amplituda a ni period nisu sasvim stalni. Najpoznatiji primjer ovog tipa promjenjivih zvijezda je Mira (*o* Kita).

## Nepravilno promjenjive zvijezde

Vrlo mlade zvijezde koje se još nisu stabilizirale, ali i vrlo stare zvijezde pred kraj svojeg života, koje više nisu u stanju održavati svoju unutarnju ravnotežu, mijenjaju svoj sjaj potpuno nepravilno. U ove posljednje spada Betelgeuze u Orionu.

## Nove i supernove zvijezde

Povremeno se na nebeskom svodu pojavi nova zvijezda, koje na tom mjestu ranije nije bilo. Tu se obično radi o zvijezdi pred kraj njenog života koja u ogromnoj eksploziji odbacuje dio svojeg omotača u okolni svemir. Takva zvijezda može u nekoliko dana povećati svoj sjaj za desetak magnituda, a nakon toga u idućih nekoliko mjeseci sjaj joj ponovno slabi i ona opet nestaje iz našeg vidokruga. Po tome što se iznenada pojavi na nebeskom svodu, ova vrsta promjenjivih zvijezda dobila je ime nova.

Ako se radi o vrlo velikoj zvijezdi, eksplozija može biti strahovita. Takva eksplozija naziva se supernova. U trenutku eksplozije supernova sjaji sjajem koji je veći od cijele jedne galaksije! I ona u idućih nekoliko mjeseci polagano tamni i nestaje iz našeg vidokruga. Na mjestu supernove uskoro se pojavljuje svjetla maglica koja se naglo širi. Radi se o ostacima nekadašnje zvijezde koji su u silnoj eksploziji razbacani u okolni prostor. ponekad se u njenoj

sredini može zamijetiti i ostatak zvijezde koja je eksplodirala. Primjer takvog ostatka supernove zvijezde je maglica Rakovica (M 1) u Biku.

## Opažanje promjenjivih zvijezda

Metode opažanja promjenjivih zvijezda zasnivaju se na uspoređivanju sjaja promjenjive zvijezde sa obližnjim zvijezdama sličnog sjaja. Amateri danas uglavnom koriste modificiranu Pickeringovu metodu (William Henry Pickering, američki astronom koji je uveo ovu metodu u 19. stoljeću) jer ona ne zahtijeva složenu matematičku obradu. Kod nje su nam potrebne dvije susjedne zvijezde (koje se nazivaju poredbene zvijezde) od kojih jedna treba biti sjajnija od promjenjive zvijezde a druga slabijeg sjaja. Razlika u sjaju između poredbenih zvijezda bi trebala biti od 0,5 do 1 zvjezdane veličine. Ako je amplituda promjenjive zvijezde veća, koristi se više poredbenih zvijezda koje pokrivaju cijelu amplitudu promjenjive zvijezde u malim koracima. Sjaj poredbenih zvijezda mora biti točno poznat.

Kod određivanja sjaja promjenjive zvijezde naizmjenice gledamo promjenjivu i dvije poredbene zvijezde i pri tome uspoređujemo sjaj promjenjive zvijezde sa sjajevima poredbenih. Nemojmo pokušati opažati sve zvijezde istovremeno, i ne gledajmo rubom oka jer je tada točnost opažanja znatno lošija. U mislima razliku sjaja dvije poredbene zvijezde podijelimo na deset dijelova i pokušamo odrediti gdje se na toj skali nalazi sjaj promjenjive zvijezde. Kod toga treba bez žurbe nastojati pažljivo procijeniti razliku u sjaju. Poredbene zvijezde u ovom postupku označavaju se slovima a (sjajnija) i b (tamnija) zvijezda, a promjenjiva zvijezda obično se označava slovom v. Ako nam se primjerice čini da je sjaj promjenjive točno u sredini između sjajeva poredbenih zvijezda, zapisujemo kraticu a5v5b. Ako nam se pak čini da je ona po sjaju baš jednaka zvijezdi a, zapisujemo a0v10b, itd. Pri tome je potrebno zapisati i vrijeme opažanja.

Pri obradi opažanja iz ovih bilježaka se računa sjaj poredbene zvijezde. Kako smo razliku sjaja poredbenih zvijezda podijelili na deset stupnjeva, jedan stupanj je jednak jednoj desetinki te razlike. Iznos jednog stupnja pomnožimo razlikom u stupnjevima između zvijezde a i promjenjive zvijezde pa dobijemo razliku u sjaju između zvijezde a i same promjenjive. Kako je zvijezda a sjajnija od promjenjive, ovu razliku dodamo sjaju zvijezde a i dobili smo sjaj promjenjive zvijezde u trenutku opažanja. Na isti način smo mogli izračunati razliku u sjaju promjenjive i zvijezde b i otuda naći sjaj promjenjive.

Ako je amplituda promjenjive veća od jedne magnitute, koristi se niz od nekoliko poredbenih zvijezda. Tako uvijek možemo naći dvije poredbene od kojih je jedna sjajnija a druga slabijeg sjaja od promjenjive u trenutku opažanja. Ove dodatne poredbene zvijezde označavaju se slovima c, d, e, itd., redom po opadajućem sjaju. Kod zapisivanja opažanja treba paziti da se točno zapiše koje poredbene zvijezde su korištene za to opažanje. Prikladne karte sa već unesenim poredbenim zvijezdama mogu se naći u amaterskoj literaturi i na internetskim stranicama posvećenima opažanju promjenjivih zvijezda. Tako na stranicama američkog udruženja amatera koji opažaju promjenjive zvijezde (AAVSO ili American Association of Variable Star Observers) možete naći na tisuće karata, upute za opažanje a možete i dodati svoja opažanja u njihovu bazu podataka. Tako i vaša opažanja postaju dostupna svima, pa i

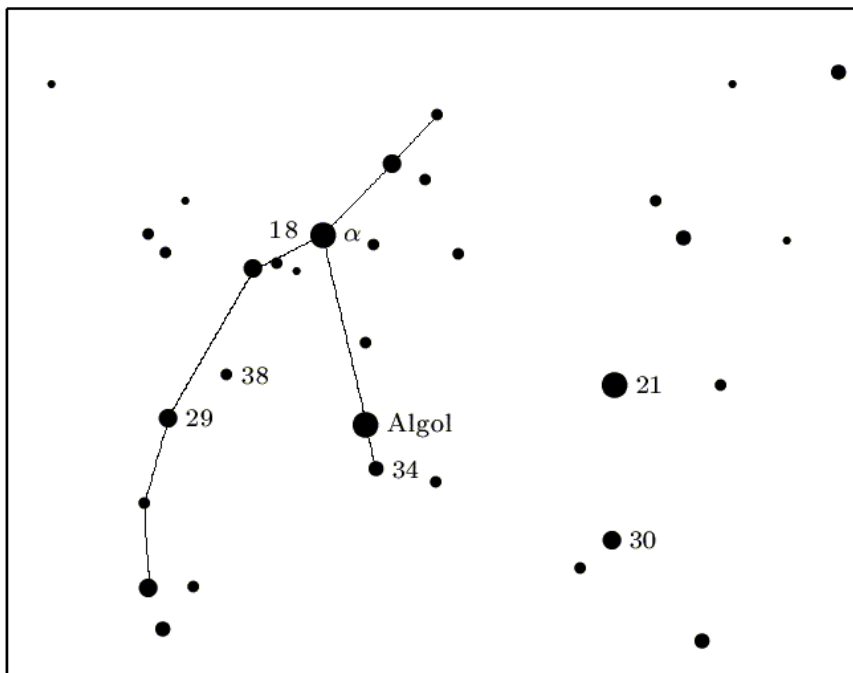
profesionalnim astronomima koji često konzultiraju ovu i slične baze amaterskih opažanja. Stranice se nalaze na adresi [www.aavso.org](http://www.aavso.org).

Kad se skupi dovoljno opažanja, može se nacrtati grafikon promjene sjaja promjenjive zvijezde iz kojeg je moguće odrediti amplitudu promjene sjaja i period, ako on postoji. U svijetu postoje organizacije koje skupljaju ovakva opažanja i iz njih slažu znatno točnije grafikone koje onda često koriste i profesionalni astronomi. Uvjet je naravno da su opažanja ispravno napravljena i točno zabilježena. Marljiv će opažač već nakon nekoliko mjeseci vježbe steći dovoljno iskustva i postići potrebnu točnost za ovakvu vrstu rada.

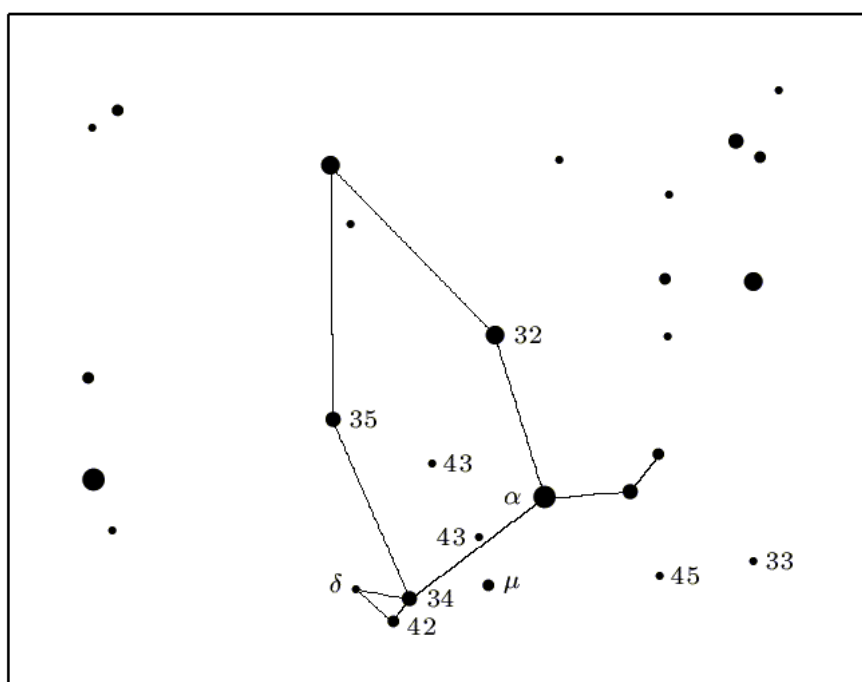
Najsajnije promjenjive zvijezde (do oko 4 ili 5 veličine) mogu se opažati golim okom. Za zvijezde slabijeg sjaja (do 6 ili 7 veličine) potreban je dvogled a za još slabije zvijezde mora se upotrijebiti teleskop. Obzirom da se sjaj promjenjive zvijezde mora uspoređivati sa okolnim poredbenim zvijezdama, vidno polje je kod ovakvog opažanja važnije od povećanja. Kod teleskopa se zato koristi najmanje povećanje jer ono daje najveće vidno polje. Poželjno je da poredbene i promjenjiva istovremeno stanu u vidno polje instrumenta. U protivnom se mora instrumentom stalno šetati amo-tamo što kod teleskopa može biti prilično nespretno a ni točnost opažanja neće biti tako dobra kao kad su sve zvijezde u istom vidnom polju.

**Tablica 17:** Neke promjenjive zvijezde prikladne za amatersko opažanje. Popis mnogo više njih može se naći na stranicama AAVSO, kao i već priređene karte poredbenih zvijezda za njih. Posebno je zanimljiva zvijezda R CrB koja uglavnom svijetli maksimalnim sjajem (tada je vidljiva dvogledom) no povremeno joj sjaj naglo opadne za oko 8 veličina i onda se mjesecima polako vraća natrag. Kod nje se zaista uvijek može upitati: hoćemo li je danas vidjeti ili ne?

zvijezda	tip	period (d)	max. sjaj $m_v$ )	min.sjaj ( $m_v$ )
Algol	pomrčinska	2,86731	2,1	3,4
$\delta$ Cep	cefeida	5,36634	3,4	4,2
$\mu$ Cep	polupravilna	oko 730	3,4	5,1
Mira Ceti	dugoper.	331,9	2,0	10,1
R CrB	nepravilna	-	5,7	14,0



**Slika 40:** Karta za opažanje i određivanje sjaja Algola. Algol se najbolje opaža golim okom ili malim dvogledom.



**Slika 41:** Karta za opažanje i određivanje sjaja  $\delta$  Cefeja. Ova cefeida se najbolje opaža golim okom ili malim dvogledom. Na istoj karti je i polupravilno promjenjiva zvijezda  $\mu$  Cefeja.

## OPAŽANJE MAGLICA

Opažanje maglica znatno se razlikuje od opažanja planeta, Mjeseca ili dvojnih zvijezda. Dok je kod ovih prvih najvažnije razlučivanje, dakle kvalitetan teleskop, veliko povećanje i nadasve mirna atmosfera, dotle je kod opažanja maglica najvažnija količina svjetla koju teleskop sakuplja, te tamno i prozirno nebo. Kako su maglice u pravilu slabog sjaja, kod njihova opažanja se koriste mala i srednja povećanja, pa optička kvaliteta teleskopa nije presudna. Nije stoga čudno što su se za opažanje maglica razvili i posebni tipovi teleskopa koji uz najmanju moguću cijenu daju najveći otvor objektiva. No, za opažanje sjajnijih maglica nije nužno imati takav veliki teleskop. Već i mali instrument može pokazati mnogo maglica, ako znademo iskoristiti njegove mogućnosti. Pri tome je opažanje nekih vrsta maglica moguće čak i iz svjetlom jako onečišćenih gradova.

Maglice su uglavnom slabijeg je sjaja od 6 zvjezdane veličine, što znači da ih golim okom ne možemo vidjeti, već ih moramo tražiti metodom skoka sa zvijezde na zvijezdu. Ovdje je važno naglasiti razliku između zvjezdane veličine maglice i zvijezde. Zvjezdana veličina maglice je isto kao i kod zvijezde mjera ukupnog svjetla koje maglica odaje. No, dok je kod zvijezde sve to svjetlo sakupljeno u jednu točku, dotle je ono kod maglice raspoređeno po cijeloj površini maglice. To znači da je maglica znatno tamnija nego što to govori njezin kataloški sjaj. Na primjer, poznata Andromedina maglica ima sjaj od 4 m, po čemu je ona sjajnija od susjedne zvijezde u Andromede čiji sjaj je "samo" 4,5 m. No dok ovu zvijezdu bez većih poteškoća možemo vidjeti i iz svjetlom onečišćenih lokacija, dotle Andromedinu maglicu možemo nazrijeti golim okom samo kad je zrak čist i nebo zaista tamno. Razlog leži u tome što je svjetlo Andromedine maglice raspoređeno po velikoj površini, koja je oko deset puta veća od površine mjesečevog diska! Koliko se svjetlo zvijezde oslabi rasipanjem na tako veliku površinu lako se uvjerimo jednostavnim pokusom. Nađimo našim teleskopom zvijezdu u Andromede i samu Andromedinu maglicu i onda zamutimo sliku toliko da krug svjetla koji predstavlja neostru sliku zvijezde postane približno jednako velik kao sama maglica. Kod toga ćemo primijetiti kako se svjetlina neoštrg kruga naglo smanjuje kako krug raste.

Pravilan odabir povećanja od presudne je važnosti kod opažanja maglica. Kod manjeg povećanja slika je svjetlija, no to nam pomaže samo ako nebo nije previše svijetlo. Kod svjetlom onečišćenog neba premalo povećanje toliko će posvijetliti nebo da će maglicu biti teže uočiti nego kod nešto većeg povećanja. U pravilu je kod svakog opažanja dobro isprobati nekoliko različitih povećanja, polazeći od najmanjeg, pa do srednjeg. Neophodno je pri tome da maglica stane u vidno polje. Nju naime uočavamo po razlici svjetline maglice i okolnog neba. Ako je maglica veća od vidnog polja, ne vidimo okolno nebo, pa maglicu nećemo ni primijetiti. Slična je stvar sa zvjezdanim skupovima. Njih prepoznavamo po gušćem grupiranju zvijezda na prostoru koji skup zauzima. Ako je vidno polje manje od samog skupa, nećemo primijetiti tu razliku i gledat ćemo direktno kroz skup a da ga i ne uočimo. Lijep primjer toga su Plejade koje prekrasno izgledaju u dvogledu ili u manjem teleskopu koji može dati povećanje od 15 do 20 puta. Kod većeg povećanja vidimo u vidnom polju samo manji dio cijelog skupa i uopće ne shvaćamo da su tu zvijezde mnogo gušće nego pola stupnja lijevo ili desno.

## Otvoreni zvjezdani skupovi

Zvjezde se najčešće rađaju u velikim oblacima međuzvjezdanog plina i prašine. Primjer jednog takvog oblaka je Orionova maglica. U njoj i danas nastaju nove zvjezde. U takvim oblacima istovremeno nastaje mnogo zvijezda. Još dugo vremena nakon svog nastanka putuju ove zvjezde zajedno kroz prostor. Ako je grupiranje dovoljno gusto ističe se ta grupica zvijezda svojom gustoćom ispred ostalih zvijezda mliječnog puta. Takve grupice zvijezda nazivamo otvoreni zvjezdani skupovi. Za ime "otvoreni" postoje dva razloga: prvi je da su takvi skupovi nepravilnog oblika, a drugi da zvjezde polagano napuštaju skup i razilaze se po okolnom prostoru. Najveći dio otvorenih skupova nalazi se u disku naše galaksije pa ih najviše vidimo u i oko Mliječnog puta. Tipični otvoreni skup broji nekoliko desetaka do nekoliko stotina zvijezda.

Nalazi li se otvoreni skup daleko od nas, njegove zvjezde mogu biti tako slabog sjaja da ih naš mali teleskop ne može pokazati. Takove skupove vidimo kao malene svijetle maglice, slično kako i mliječni put golim okom vidimo kao mliječni veo svjetla jer su njegove pojedine zvjezde preslabog sjaja da bi ih opazili svaku posebno. Mnogo puta je moguće većim povećanjem otvoreni skup razlučiti ili barem opaziti nekoliko njegovih najsajnijih zvijezda. Plejade se tako mogu potpuno razlučiti u zvjezde već i dvogledom, dok Jaslice kod malog povećanja (desetak puta) izgledaju kao tamna mrlja sa nekoliko slabih zvijezda ispred nje. Kod većeg povećanja (pedesetak puta i više) i one budu potpuno razdvojene u pojedine zvjezde.

Otvoreni zvjezdani skupovi vrlo su različiti. Neki su tako veliki da se mogu opažati samo golim okom, primjerice Orionova asocijacija koju čini najveći dio sjajnih zvijezda u zviježđu Oriona i oko njega. Drugi pak, primjerice Plejade, najbolje izgledaju u dvogledu, a za dobar dio njih nam je dovoljan manji teleskop. Gustoća zvijezda u otvorenim skupovima također se jako razlikuje od skupa do skupa. Neki su tako gusti da ih je i sa velikim teleskopom teško razdvojiti u zvjezde, a neki sa toliko rijetki da ih je teško primijetiti.

Opažanje otvorenih skupova počinjemo malim povećanjima. Ako je skup znatno manji od vidnog polja, možemo upotrijebiti veće povećanje i pokušati razlučiti skup u pojedine zvjezde. Tek kod rijetkih, vrlo gustih skupova bit će moguće upotrijebiti srednja ili čak velika povećanja. Većinu otvorenih skupova moguće je opažati i kad nebo nije sasvim tamno, dakle i iz gradova i naselja. Dogodi se kod toga da se slabije zvjezde izgube u svjetlini neba, no skup još uvijek možemo prepoznati po njegovim sjajnijim zvjezdama koje naš instrument može pokazati i na svjetlom nebu. Kod mnogih skupova gubitak najslabijih zvijezda nije strašan i oni i u takvim uvjetima opažanja izgledaju prekrasno. Iz gradova ne možemo opažati jedino one otvorene skupove koji su toliko slabog sjaja da ih ni u boljim uvjetima ne možemo razlučiti u zvjezde. Oni se kao i ostale slabe maglice izgube u svjetlini neba.

## Kuglasti skupovi

I kuglasti skupovi su velike nakupine zvijezda istog porijekla. No oni su znatno veći, sadržavaju i do nekoliko stotina tisuća zvijezda, i približno su kuglastog oblika. Uglavnom se

nalaze u velikom prostoru izvan samog galaktičkog diska gdje polagano kruže oko središta naše galaksije. Gledani malim teleskopom izgledaju kao male svijetle loptice. Pojedine zvijezde mogu se tek ponekad razlučiti uz rubove tih loptica, ali samo teleskopima otvora većeg od desetak centimetara. Kako se u kuglastim skupovima mnogo zvijezda nalazi na relativno malom prostoru, oni su prilično svijetli pa se dobar dio njih može opažati i kad uvjeti nisu idealni. Najbolje izgledaju kod srednjih povećanja, a najsvjetliji od njih mogu se opažati i velikim povećanjima, posebno ako njihove rubove želimo pokušati razdvojiti u zvijezde.

## Difuzne maglice

Difuzne maglice sastoje se od međuzvjezdanog plina i prašine. U nekima od njih još nastaju nove zvijezde, a neke su tek ostaci većih oblaka koji su već potrošeni. Kad su takve maglice obasjane svjetlom susjednih zvijezda, vidimo ih kao nepravilne svijetle mrlje na nebeskom svodu. Ako nisu obasjane, tamne su i vidimo ih samo ako se nalaze ispred svjetlije pozadine, naprimjer ako su ispred svijetle difuzne maglice ili gustih zvijezda mliječnog puta. Kao i otvoreni zvjezdani skupovi, difuzne maglice se nalaze u disku naše galaksije, pa ih najveći broj vidimo u mliječnom putu ili njegovoj neposrednoj blizini. Nekoliko desetaka difuznih maglica može se opažati i manjim dalekozorom. Za ostatak nam je potreban barem manji teleskop i tamno nebo. Svjetlosno onečišćenje onemogućava opažanje većine difuznih maglica. Kod opažanja se koriste mala povećanja, rjeđe srednja. Veći otvor objektiva teleskopa znatno olakšava opažanje ovih objekata.

## Tamne maglice

Tamne maglice nalaze se u smjeru mliječnog puta gdje ih primjećujemo po tome što zaklanjaju zvijezde koje su iza njih. Za njihovo opažanje najpogodniji instrument je običan dvogled, a samo nekoliko manjih može se opažati i teleskopom. Dapače, najveće od njih vide se i golim okom kao tamne pruge ispred svijetlog vela mliječnog puta, npr. ona koja mliječni put dijeli na dva dijela u zviježđu Labuda. Kod opažanja tamnih maglica vidno polje mora biti znatno veće od same maglice jer se mora vidjeti i njena okolina. Tek tada uočava se tamna maglica kao mjesto sa znatno manjim brojem zvijezda koje se na tom mjestu nalaze, u usporedbi sa njenom neposrednom okolinom. Ako ovakve maglice želimo opažati teleskopom, svakako upotrijebimo minimalno povećanje.

## Planetarne maglice

Planetarne maglice posljedica su jedne su od zadnjih faza u životu zvijezda sličnih Suncu. Takve zvijezde pred kraj svojeg normalnog života postanu crveni divovi, a nakon toga odbace svoje vanjske slojeve koji se naglo šire u okolni prostor. Od same zvijezde preostaje bijeli patuljak koji se polagano hladi. Za vrijeme dok je šireći oblak plina još u blizini bijelog

patuljka, on svijetli pobuđen njegovim zračenjem. Ovakve maglice u teleskopu vidimo kao male svijetle oblačiće koji izgledom i veličinom često podsjećaju na diskove planeta pa su po tome dobili ime. Ostaci eksplozije supernovih zvijezda neki puta izgledaju slično, npr. maglica Rakovica u zviježđu Bika.

Planetarne maglice uglavnom su manje od lučne minute i uz to imaju znatnu površinsku svjetlinu. To znači da ih možemo opažati sa srednjim ili čak i velikim povećanjima, a zbog relativno velike površinske svjetline mnoge od njih mogu se vidjeti i kad je svjetlosno onečišćenje prilično jako. Poznati primjer je Prstenasta maglica u zviježđu Lire koju je malim teleskopima bez poteškoća moguće vidjeti i iz središta velikih gradova.

## Galaksije

Najveći broj maglica na nebeskom svodu su galaksije. Nažalost, za većinu njih potreban je veliki teleskop. Tek nekoliko stotina najsvjetlijih na dohvat je manjeg amaterskog teleskopa, a nekoliko desetaka najsajnijih vidljivo je dvogledom. Samo nekoliko njih inazire se i golim okom (Andromedina maglica, M 33 u Trokutu) ako je nebo dovoljno tamno (bez svjetlosnog onečišćenja). Kao i kod difuznih maglica, za njihovo opažanje koriste se mala ili srednja povećanja. Već i malo svjetlosno onečišćenje onemogućava opažanje najvećeg broja galaksija. I one koje možemo opaziti u takvom uvjetima uglavnom su svedene na njihov najsvjetliji dio neposredno oko galaktičkog središta. Tu je nažalost jedini lijek drugo promatračko mjesto sa tamnijim nebom!

## Crtanje maglica

Crtanje maglica donekle se razlikuje od crtanja Mjeseca i planeta. Maglice se obično ucrtavaju u krug promjera 10 do 15 cm koji predstavlja vidno polje teleskopa. Uglavnom se crta na bijelom papiru, pa crtamo u negativu, tj. ono što je u stvarnosti svjetlije, na slici je jače osjenčano i obratno. Zvjezde u skladu sa njihovim sjajem ucrtavaju se kao veći ili manji crni kružići.

Crtanje započinje označavanjem položaja nekoliko najsajnijih zvijezda. One kod daljnjeg crtanja služe kao orijentiri prema kojima se ucrtava položaj slabijih zvijezda i izgled same maglice. Ovdje se ne mora žuriti, jer se za razliku od planeta ili Mjeseca, izgled maglice ne mijenja. Sama maglica prvo se grubo skicira tvrdom olovkom, a onda se mekšom olovkom lagano ucrtaju i osjenčaju detalji. I kod ovakvih skica neki crtači naknadno boje okolinu vidnog polja u crno. Ponekad se i cijela slika naknadno precrtava bijelom olovkom na crni papir, no taj je postupak prilično težak i treba ga dosta vježbati.



## POJAVE NA DNEVNOM NEBU

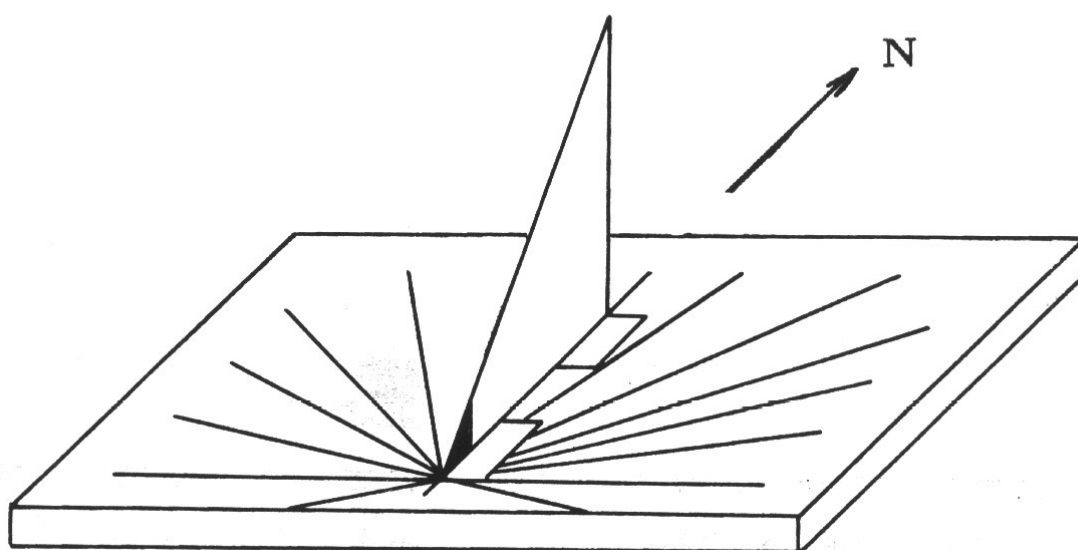
Dnevno je nebo također prepuno zanimljivih pojava, samo što toga uglavnom nismo svjesni. Sigurno ste već uživali u prelijepoj dugi koja se može vidjeti kad su kišne kapi obasjane sunčevim zrakama. Znadete li da se ponekad može vidjeti i druga duga? Ona je slabijeg sjaja od one prve i boje u njoj idu obrnutim redosljedom. Ona je veća od prve ali i ona okružuje antisolarnu točku (tj. točku koja je na nebeskom svodu nasuprot Suncu). Kad je Sunce iznad obzora, ova je točka ispod njega i zato od duge vidimo samo dio kruga koji je iznad obzora. No, gledano iz aviona, može se vidjeti i cijeli dugin krug! A jeste li znali da i Mjesec može proizvestiugu? Ona je doduše tako slabog sjaja da joj boje ne vidimo, ali samugu lako možemo opaziti, naravno ako se za vrijeme noćne kiše iza oblaka pojavi Mjesec.

Po neki puta nebom kruže tanki, rijetki oblaci kroz koje se probija sunčevo ili mjesečevo svjetlo, ali zvijezde ostaju zaklonjene. U takvim uvjetima se svjetlo Sunca ili Mjeseca raspršuje na kapljicama vode ili sitnim česticama leda od kojih se takvi oblaci sastoje, pa se na nebeskom svodu mogu vidjeti različiti obojeni ili bijeli krugovi, tzv. kolobari, kružni lukovi ili čak i lažna Sunca. Neke od ovih pojava relativno su česte, a neke vrlo rijetke. No da bismo ih vidjeli, moramo gledati prema nebeskom svodu. Za opažanje pojava u blizini Sunca možemo Sunce zakloniti rukom, ili odabrati takvo mjesto opažanja na kojem je Sunce zaklonjeno uličnom svjetiljkom ili obližnjom zgradom. Da bi se samo nabrojile i ukratko opisale sve moguće pojave ovog tipa, potrebna je knjiga deblja od ove koju upravo čitate!

Rijetko, vrlo rijetko, pojavi se na dnevnom nebu bolid, koji svojim sjajem može nakratko zasjeniti i samo Sunce, i iza kojeg obično ostaje trag dima. Detaljan opis ovakvih rijetkih pojava dragocjen je znanstvenicima, a sam doživljaj je izuzetan, rijedak i neponovljiv. Dakle i po danu treba povremeno baciti pogled prema nebeskom svodu!

## IZRADA JEDNOSTAVNOG SUNČEVOG SATA

Postoji mnogo različitih konstrukcija sunčevih satova, no one najjednostavnije se svrstavaju u dvije grupe: vodoravne i uspravne sunčeve satove. Kod vodoravnih sunčevih satova skala sata leži u vodoravnoj ravnini. Ovakvi satovi često su se koristili na trgovima ili u vrtovima i osim praktične imali su i dekorativnu ulogu. Skala uspravnog sata stoji uspravno i obično je nacrtana na zidu neke zgrade. Štap koji baca sjenu uvijek je postavljen u smjeru nebeske osi. Sve se konstrukcije daju točno matematički proračunati, ali vodoravni sunčev sat može se relativno jednostavno konstruirati geometrijski, samo uz upotrebu šestara i trokuta!



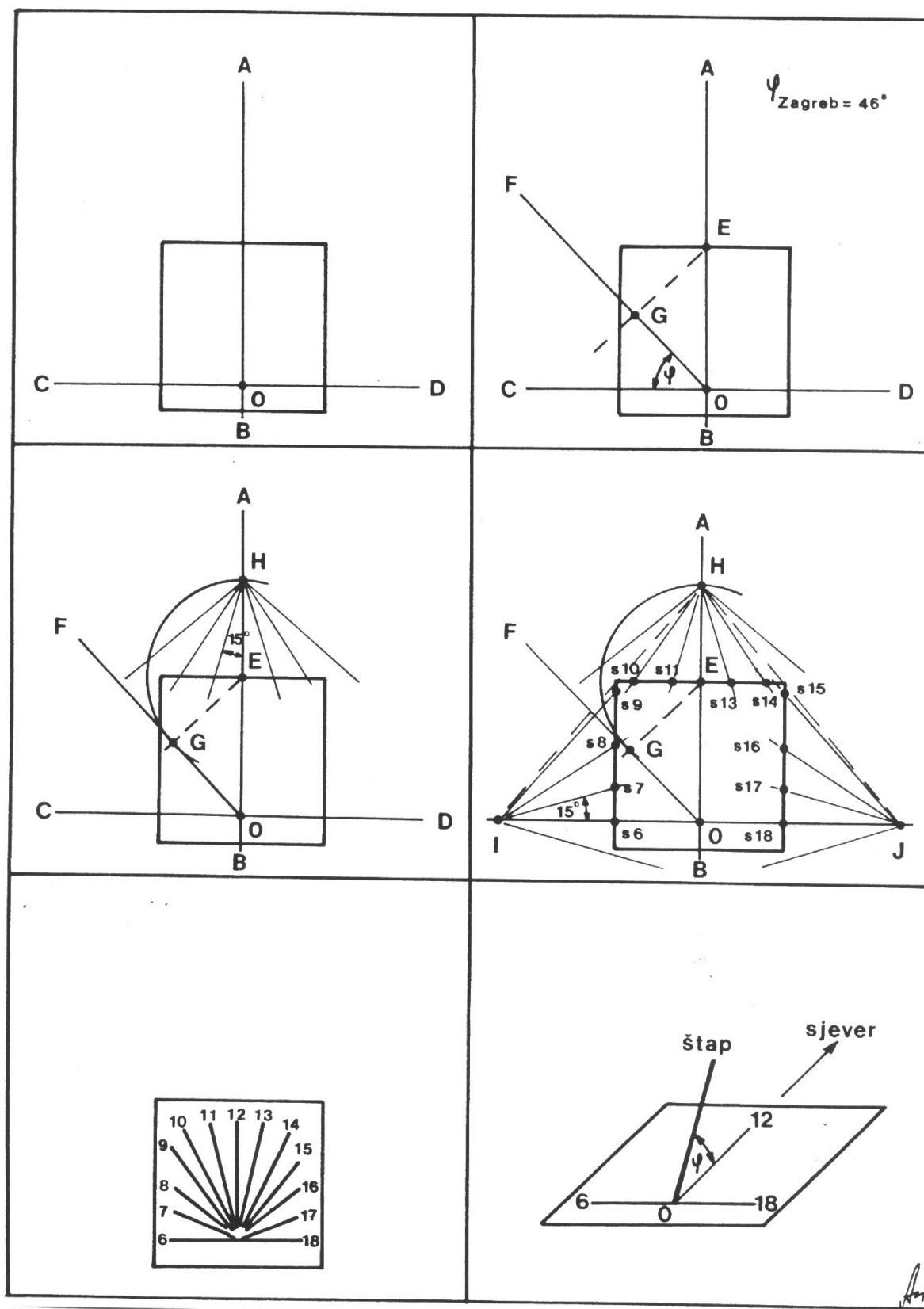
**Slika 42:** Osnovni izgled vodoravnog sunčevog sata. Skala sata se nalazi na vodoravnoj podlozi, a sjenilo stoji u smjeru sjever-jug. Vrijeme pokazuje sjena ruba sjenila na skali sata. Umjesto sjenila često se koristi štap ili pokazivač sličnog oblika, koji je postavljen u smjeru gornjeg ruba sjenila (prema sjevernom nebeskom polu).

Postupak crtanja je prikazan na slici 43. Prvo se odredi veličina sata, pa se nacrtava kvadrat te veličine. Ako je sat jako velik, skala se crta u umanjenom mjerilu i kasnije se prenosi na crtež prave veličine. Nacrtani kvadrat raspolovi se simetralom AB i na njoj se odredi podnožje štapa, O (prva sličica). U toj točki učvrstić će se kasnije štap koji će bacati sjenu na skalu sata. Simetrala AB naziva se i podnevna linija jer na nju pada sjena štapa u pravo podne. Kroz točku O povuče se okomica na simetralu AB, označena sa CD. Na nju pada sjena štapa u 6 sati ujutro na jednu, i u 6 sati uvečer na drugu stranu, pa se ona naziva i šest-satnom linijom.

Nakon toga se ucrtava kut COF sa vrhom u O i veličinom jednakom zemljopisnoj širini,  $\varphi$  (druga sličica). Točnost od pola stupnja ovdje je dovoljna pa se zemljopisna širina može pročitati sa zemljopisne karte. Presjecište simetrale AB sa gornjom stranicom kvadrata označi se s E. Iz točke E povuče se okomica na liniju OF i njihovo sjecište označi s G. Nakon toga oko točke E se opiše luk polumjera EG do sjecišta sa simetralom AB. Ovo sjecište označeno je slovom H (treća sličica). Iz točke H redom se vuku zrake pod kutovima od  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  itd. s obje strane simetrale AB tako dugo dok zraka ne promaši gornju stranicu kvadrata. Za ostale satne linije potrebne su točke I i J na šest-satnoj liniji. One se određuju tako da se iz točke H preko dva najbliža vrha kvadrata povuku zrake do njihovog sjecišta sa šest-satnom linijom (linija CD). Dobivena presjecišta su tražene točke I i J (četvrta sličica), iz kojih se na isti način kao i prije vuku zrake pod kutovima od  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ , itd., od linije CD na gore i dolje do njihovog sjecišta sa najbližom stranicom kvadrata. Dobivena sjecišta (S10, S11, ...) su točke u kojima satne linije sa središtem u O sijeku dotičnu stranicu kvadrata. Satne linije dobiju se spajanjem točke O s točkama S10, S11, itd.. Linija od O do sjecišta simetrale AB sa stranicom kvadrata označi se sa 12 sati, satne linije lijevo od nje redom sa 11, 10, 9... sati a one desno od nje sa 13, 14, 15 ... sati. Gotova skala sata, bez detalja konstrukcije, prikazana je na petoj sličici.

Na kraju se u točki O učvrsti štap tako da stoji pod kutem zemljopisne širine prema ploči sata, u smjeru podnevne satne linije (vidi šestu sličicu). Umjesto štapa može se postaviti i trokut izrezan iz nekog prikladnog materijala ili neki sličan predmet koji nam estetski najviše odgovara. Bitno je da onaj dio tog predmeta, čija sjena služi kao kazaljka sata, stoji pod kutem zemljopisne širine,  $\varphi$ , prema plohi sata. Cijeli sat montira se na vodoravnu podlogu tako da podnevna linija stoji u smjeru sjever-jug, sa podnožjem štapa na južnoj strani sata, i sat je završen! Smjer sjever-jug može se odrediti kompasom ili sjenom viska u pravo sunčevo podne.

Dodajmo još samo nekoliko riječi o uspravnom sunčevom satu. Skala uspravnog sunčevog sata, uz uvjet da je podloga sata u vertikalnoj ravnini koja se proteže smjerom istok-zapad, crta se na potpuno isti način kao i skala vodoravnog sunčevog sata, samo je kod crtanja kut COF sada jednak komplementu zemljopisne širine, dakle  $\text{COF} = 90^\circ - \varphi$ . Isto se tako kod postavljanja štap mora montirati pod kutem od  $90^\circ - \varphi$  prema plohi sata. Sat se montira u uspravan položaj tako da se nalazi u ravnini istok-zapad, dakle okomito na meridijan. Hvatište štapa mora biti na gornjoj strani sata, tako da je štap usmjeren prema dolje. Ako bismo pak željeli sat nacrtati na nekom zidu koji ne stoji u smjeru istok-zapad, geometrijska konstrukcija postaje vrlo komplicirana pa sa obično poseže za matematičkim proračunima.



Slika 43: Postupak crtanja skale vodoravnog sunčevog sata.

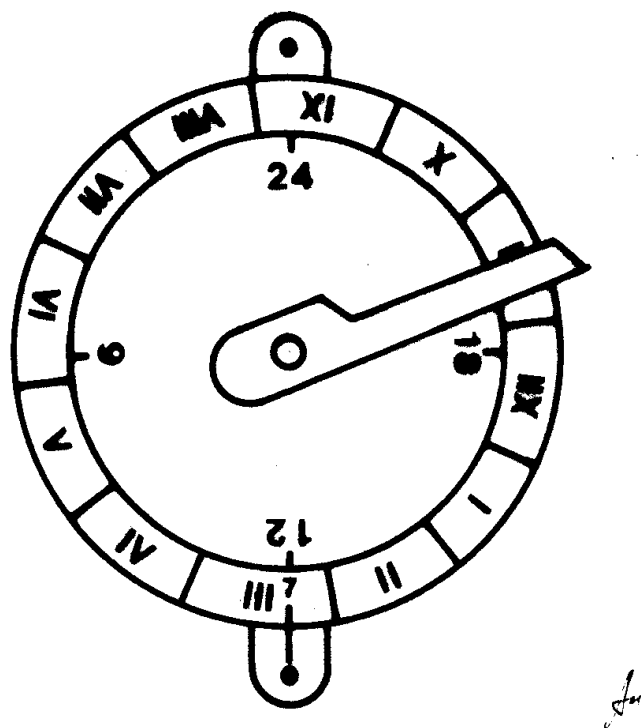
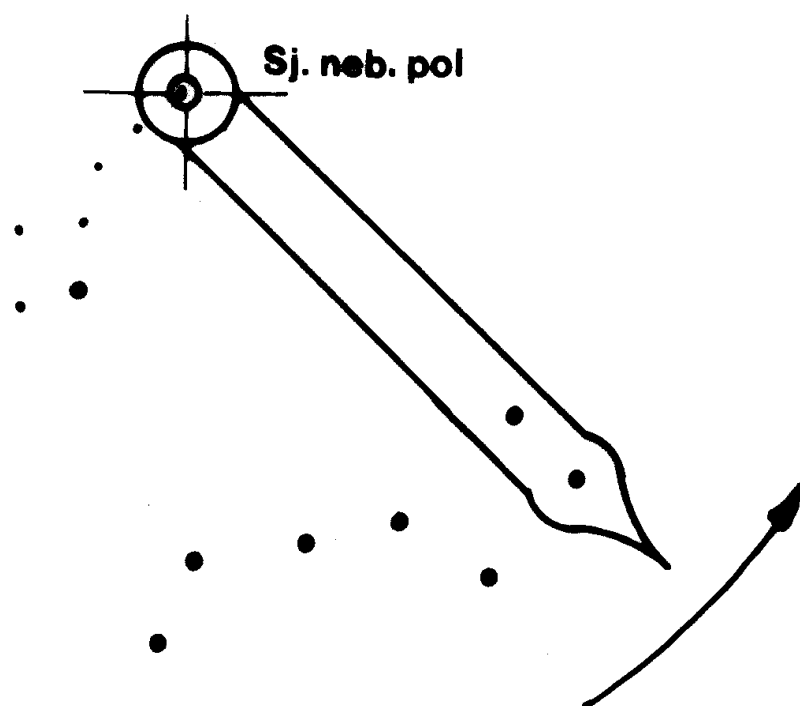
## ZVJEZDANI SAT

Konstrukcija zvjezdanog sata bazira se na dnevnoj rotaciji nebeskog svoda. Zbog vrtnje Zemlje oko vlastite osi čini nam se da se zvjezdani svod okreće oko nas. Gledamo li u smjeru Sjevernjače, primijetiti ćemo da se ta rotacija odvija u smjeru suprotnom od smjera kazaljke na satu, dakle ulijevo. Jedan puni okret traje 1 zvjezdani dan, dakle oko 4 minute manje od sunčevog dana na kojem se zasniva svakodnevno mjerenje vremena. Ova razlika je u toku jedne noći neznatna i kod zvjezdanog sata se ne uzima u obzir. Kako se vrtnja nebeskog svoda odvija oko nebeskog pola, kojeg na sjevernoj polutki dovoljno točno obilježava sjajna zvijezda Sjevernjača, za središte nebeske kazaljke ona je prirodan izbor. Potrebno je još odabrati drugi, pokretni kraj nebeske kazaljke. U tu svrhu su se koristile razne sjajne zvijezde u blizini nebeskog pola. Sve su one jednako dobre, a ovdje opisana konstrukcija kao kraj nebeske kazaljke koristi dvije zadnje zvijezde u Velikim kolima.

Brojčanik zvjezdanog sata ide od 0 do 24 sata i to u smjeru suprotnom od smjera kazaljke na satu. Kako se zvijezde u istom položaju iduće noći nađu 4 minute ranije, položaj tog brojčanika svaku je noć malo pomaknut, i to opet u smjeru suprotnom od smjera kazaljke na satu. U godini dana ovaj brojčanik učini puni krug oko nebeskog pola, prateći Sunce na njegovom prividnom putu po nebeskom svodu. Da bi se zvjezdani sat mogao koristiti, treba nam još samo podatak kako stoji njegov brojčanik jedne određene noći.

Pa eto, ako se za kazaljku upotrijebe zadnje dvije zvijezde Velikih kola, tada ona 7. ožujka u ponoć stoji okomito prema gore. Uz pomoć ovog podatka može se nacrtati brojčanik zvjezdanog sata (slika 44). Oni kojima se izrada čini previše komplicirana, mogu fotokopirati dijelove sata (slike 45 i 46) i od njih sastaviti gotov zvjezdani sat.

Kao podlogu za crtanje treba upotrijebiti čvrsti crtači papir (tzv. hamer) ili bijeli karton. Može se crtati i na tanjem papiru koji se kasnije zalijepi na čvršću podlogu. Prvo se nacrtaju unutarnji brojčanik, promjera 7 do 8 cm. Na njemu se očitavaju sati. Brojčanik se dijeli na 24 jednaka dijela, označenih brojkama od 1 do 24, idući ulijevo. 24 sata stoji uz gornju oznaku brojčanika. Uz vanjsku stranu brojčanika crta se brojčanik dana u godini. On neka u promjeru bude oko 2 cm veći od unutarnjeg brojčanika. Kako godina ima 365 dana (zanemari se onaj ostatak od oko četvrtine dana), jednom danu odgovara  $360/365$  stupnjeva. Brojčanik datuma ide u smjeru kazaljke na satu, a mora se nacrtati tako da se 7. ožujka poklapa sa 12 sati satnog brojčanika. Uz malo matematike i upotrebu donje tablice lako je odrediti položaj oznaka početaka mjeseci. Izgled sata prikazan je na slici 44.



**Slika 44:** Kazaljka nebeskog sata koji za određivanje vremena koristi zadnje dvije zvijezde Velikih kola (zvijezde Velikog medvjeda) (gore) i izgled gotovog zvjezdanog sata (dolje).

**Tablica 18:** Kutevi brojčanika datuma zvjezdanog sata koji odgovaraju počecima mjeseci.

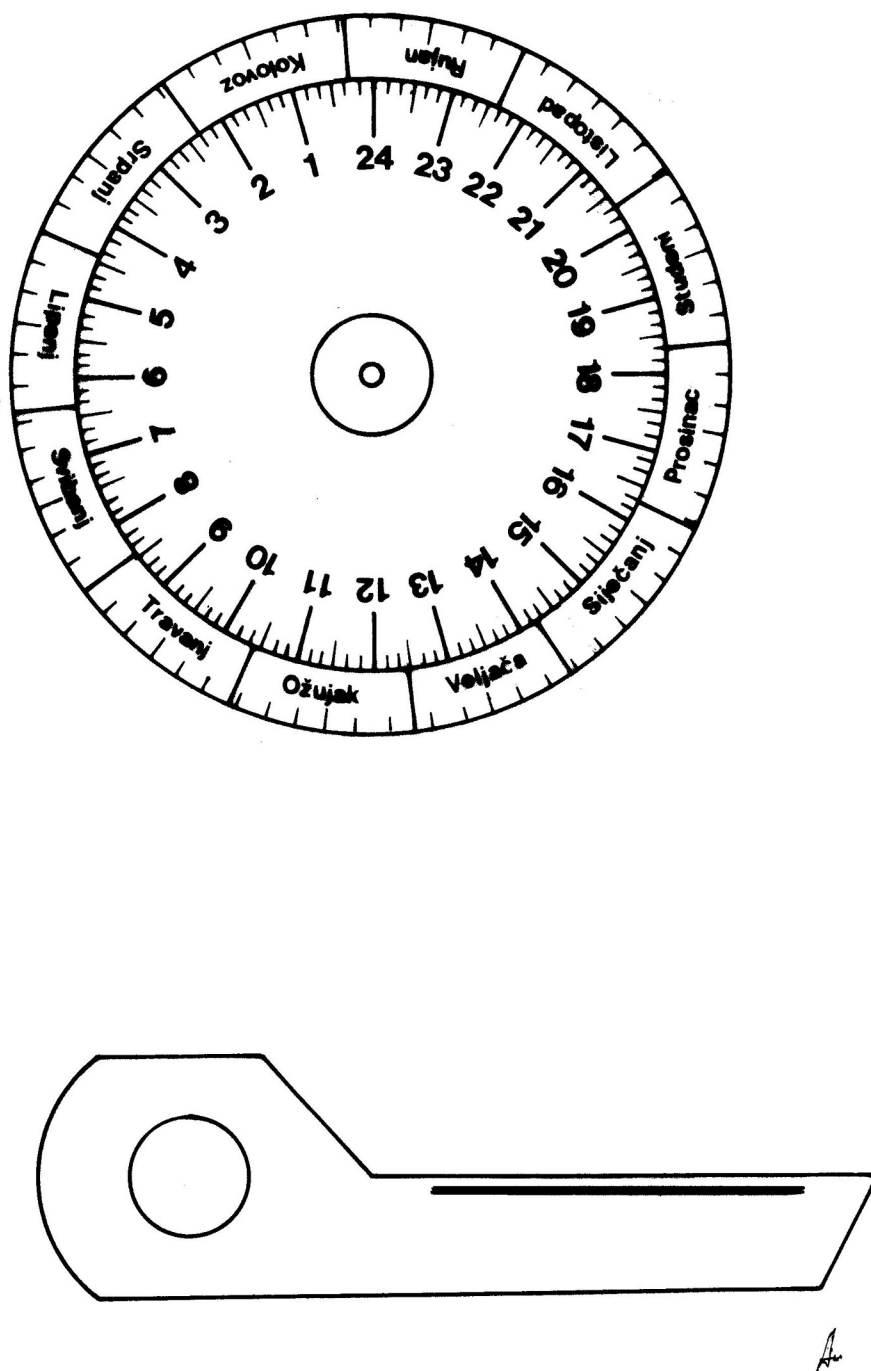
mjesec	kut	mjesec	kut
siječanj	115,9°	srpanj	293,4
veljača	145,5	kolovoz	324,0
ožujak	173,1	rujan	354,6
travanj	203,7	listopad	24,2
svibanj	233,3	studenj	54,7
lipanj	263,8	prosinac	84,3

Za bolju točnost mogu se ucrtati i oznake za svaki peti dan u mjesecu. Tu će se morati poslužiti kutomjerom, jer vremenskom periodu od 5 dana na brojčaniku odgovara kut od 4,9 stupnjeva. Ako se kutevi na brojčaniku mjere od oznake za 24 sata u smjeru kazaljke na satu, tada će početak siječnja pasti na kut od 115,9 stupnjeva.

Nacrtani brojčanici izrežu se u oblik prikazan na slici 45. Na isti način izradi se i kazaljka sata. Od trećeg komada kartona izreže se držač sata. Sada dolazi teži dio posla. Držač i kazaljku treba učvrstiti na sat tako da se mogu slobodno okretati oko središta sata, s time da u samom središtu sata ostane rupica promjera 5 do 6 mm, kroz koju će se vizirati Sjevernjača. Šuplje zakovice za kožu sa rupom otprilike te veličine idealno su rješenje. Najmanji promjer rupice koji se još može koristiti je oko 3 mm. Kod manjih rupica teško je opaziti Sjevernjaču kroz njih. No, za spojnicu kazaljke i brojčanika može se upotrijebiti deblji vijak (M8 ili M10) sa izbušenom rupicom u sredini, i skraćen na potrebnu dužinu. A spojnica se može izraditi i od nekoliko komadića kartona.

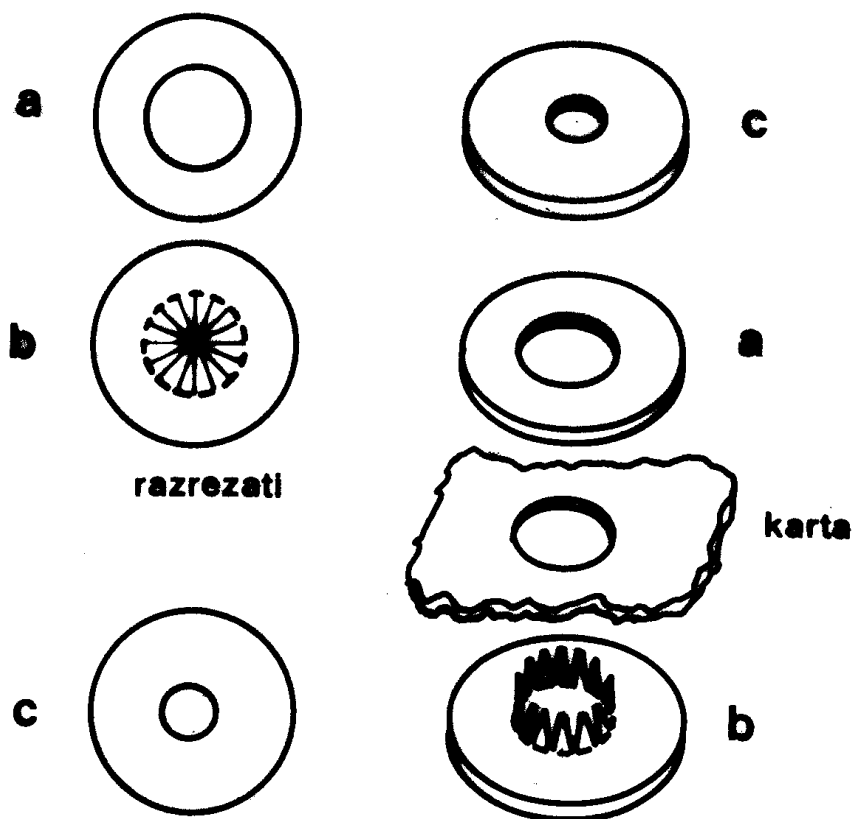
U tu svrhu se prvo od kartona izrežu dva kruga promjera oko 40 mm (slika 46). U jednom od njih u sredini se izreže rupa promjera 20 mm, a na drugom se sredina pažljivo zvjezdoliki zareže do tog promjera tako da se dobije desetak jezičaka. Jezičci se savinu pod pravim kutem prema gore. Na dijelovima sata se u sredini također izrežu rupe promjera 20 mm. Krug sa jezičcima postavi se na ravnu podlogu i na njega se redom nataknu držalo sata, brojčanik i kazaljka. Odozgo se stavi preostali krug od kartona čiju je gornja strana namazana ljepilom za papir. Ovaj krug pritisne se na sat nakon čega se na njega redom savinu dijelovi jezičaka koji vire iz rupe, tako da se zalijepe na ljepilom namazani krug. Na kraju se odozgo zalijepi još jedan kartonski krug koji u sredini ima rupicu promjera oko 5 mm. Cijeli sklop opteretiti se nekim utegom dok se ljepilo dobro ne osuši. Treba naravno paziti da se pokretni dijelovi sata međusobno ne zalijepe.

Na kraju se kroz jednu rupicu na držaču sata zaveže petlja od konca ili tanke uzice veličine 10 do 15 cm. Za drugu se zaveže ili na neki drugi način učvrsti manji uteg od nekoliko desetaka grama (bilo kakav komadić metala ili drveta dobar je za ovu svrhu). Kad se sat objesi za petlju od konca uteg ga svojom težinom drži u ispravnom položaju.



Slika 45: Brojčanik i ostali dijelovi zvjezdanog sata.

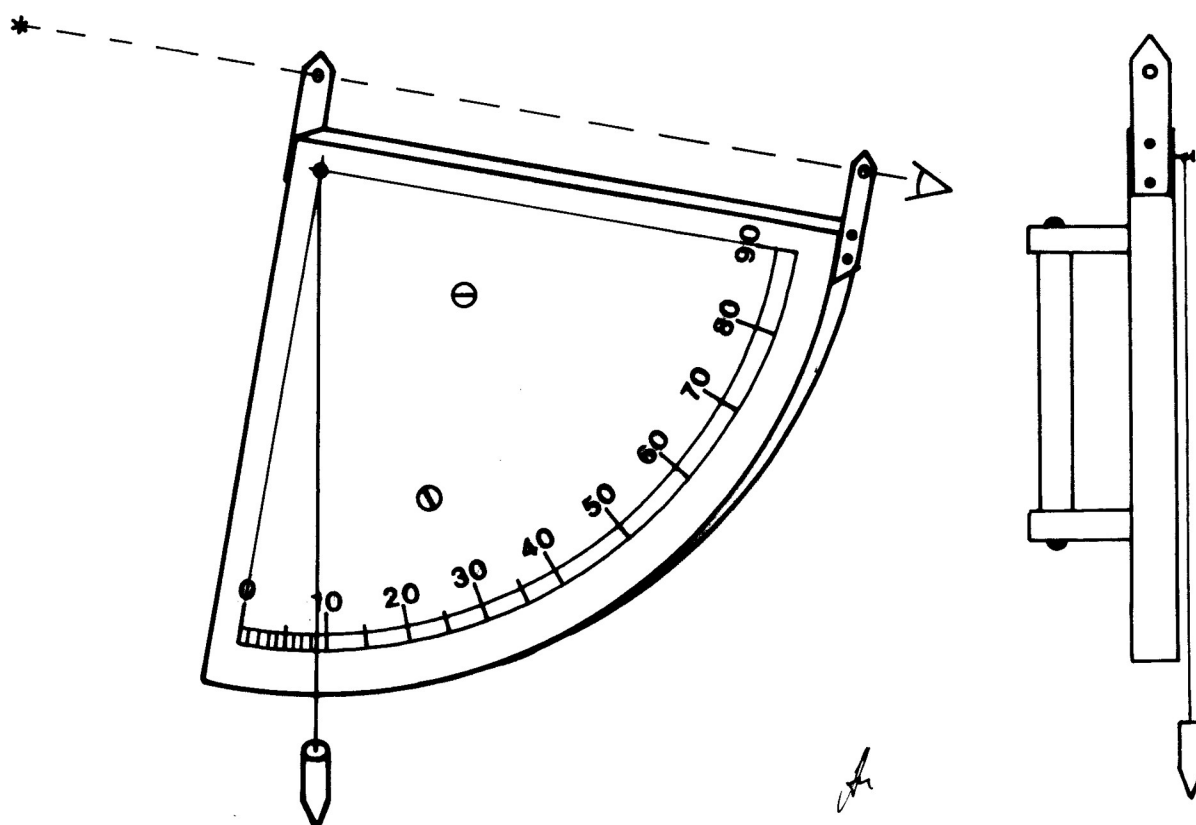




**Slika 46:** Dijelovi jednostavne spojnice za dijelove zvjezdanog sata izrađeni od kartona.

Kod određivanja vremena ovim satom se brojčanik okrene tako da se dan opažanja poklapa sa oznakom na držaču sata. Ova oznaka se nalazi na donjem dijelu držača, iznad utega. Sat se jednom rukom drži za petlju od konca sa brojčanikom okrenutim prema nama. Nakon toga se namjestite tako da kroz rupicu u središtu sata vidite Sjevernjaču. Pazeći da Sjevernjača uvijek bude vidljiva kroz rupicu, drugom rukom lagano okrećite kazaljku dok se njen vanjski dio ne "nasloni" na dvije zadnje zvijezde u Velikim kolima. Brojčanik sada u tom trenutku pokazuje pravo vrijeme. Uz malo pažnje greške će biti manje od desetak minuta.

## KVADRANT



**Slika 47:** Izgled jednostavnog kvadranta.

Kvadrant je jedan od najstarijih astronomskih instrumenata. Koristio se za mjerenje visine nebeskih objekata, određivanje zemljopisne širine i sl. Ovaj vrlo jednostavni instrument ima oblik četvrtine kruga, po čemu je i dobio ime kvadrant. On se koristi tako da se jednom rukom drži za dršku i namješta ispred oka tako da preko nišana gledamo zvijezdu čiju visinu želimo izmjeriti. Ako se pri nišanjenju visak prejako zanjše, možemo ga zaustaviti drugom rukom. U trenutku kad smo dobro nanišani na zvijezdu, i kad je visak smiren, prstom druge ruke pritisnemo nit viska na skalu. Sad možemo kvadrant spustiti i zaokrenuti tako da možemo očitati izmjerenu visinu na skali kvadranta. Ako nam pri promatranju netko pomaže, cijeli postupak je mnogo jednostavniji jer pomagač može očitati visinu objekta na skali za vrijeme dok mi nišamo na zvijezdu. Pošto nam druga ruka sad nije potrebna za pridržavanje niti viska, možemo kvadrant držati objema rukama što nam omogućava lakše i točnije mjerenje. Kako se za vrijeme mjerenja kvadrant drži u ruci, dobro je mjerenja nekoliko puta ponoviti i kao točnu vrijednost uzeti aritmetičku sredinu dobivenih rezultata.

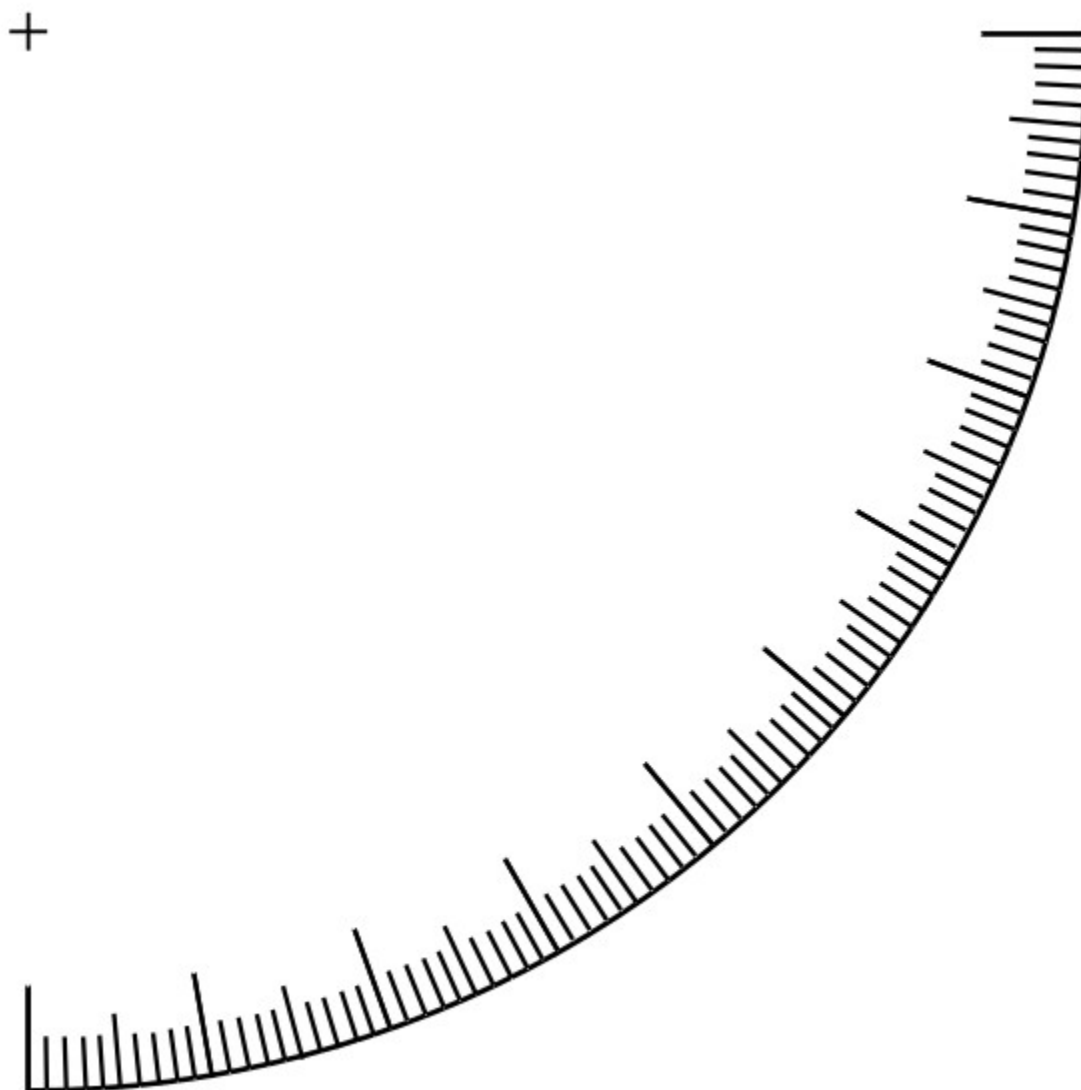
Nišan kvadranta ima prednji i stražnji dio. Vrhovi oba dijela su zašiljeni tako da se preko njih može nišati na željeni objekt. Kod nekih nišana ispod zašiljenog vrha nalaze se izbušene

rupice promjera 2 do 3 mm. Ako promatramo neku sjajniju zvijezdu, koja se vidi i kroz ove rupice, možemo nišanimi kroz njih jer je točnost nišanja u tom slučaju bolja, a time je i izmjerena visina točnija.

Kod mjerenja visine Sunca **MORAMO** postupati na drugi način. Sunce je toliko sjajno da se u njega ni u kom slučaju **NE SMIJE direktno gledati**. Zbog toga njegovu visinu mjerimo tako da kvadrant držimo u ruci i promatramo njegovu sjenu na tlu ili prikladnoj podlozi. Kvadrant pomičemo tako dugo dok sjene oba nišana ne padnu jedna preko druge. Kad smo to postigli potrebno je još samo malo truda da se svijetli kružić koji nastaje prolazom sunčevog svjetla kroz rupicu na prednjem nišanu dovede na rupicu zadnjeg nišana. U trenutku kad je to postignuto, očitamo visinu Sunca i mjerenje je završeno.

Kvadrantom možemo izmjeriti i zemljopisnu širinu promatračkog mjesta. Dovoljno je da izmjerimo visinu Sjevernjače, koja vrlo približno (sa točnošću od oko 1 stupnja) odgovara zemljopisnoj širini mjesta promatranja.

Jednostavni kvadrant možemo i sami izraditi. Primjer njegove skale prikazan je na slici 48. Nju jednostavno fotokopiramo i zalijepimo na komad šperploče ili tvrdog kartona. Možemo upotrijebiti i valoviti karton od stare ambalaže. Kad se lijepilo osuši, kvadrant izrežemo po rubu. U središte kruga kvadranta (točka označena križićem u gornjem lijevom kutu) ubodemo pribadaču ili mali čavlić. Na komadić konca dužine oko 25 cm zavežemo mali uteg, npr. malu metalnu maticu, pločicu ili sličan predmet, a drugi kraj konca zavežemo oko čavlića. Tako smo izradili visak kvadranta. Nišane izrežemo iz kartona ili tankog lima, npr. od poklopca riblje konzerve (pazite da bude aluminijska, a prepoznat ćete je po tome što se njen lim lako reže običnim škarama) i pažljivo ih učvrstite na prednji i stražnji rub kvadranta. Jednostavno, zar ne! Ako još izradimo i improviziranu dršku, prikazanu na slici 47 desno, rad s kvadrantom bit će lakši. Najjednostavniju dršku lako izradimo za par minuta od komada rebrastog kartona. Karton izrežemo u traku širine oko 3 cm i dužine 30 cm i svinemo je u potreban oblik. Krajeve namažemo ljepilom i zalijepimo na zadnju stranu kvadranta. Želimo li izraditi veći kvadrant, prilikom kopiranja povećamo njegove dijelove na željenu veličinu.



**Slika 48:** Skala jednostavnog kvadranta. Nakon što je fotokopirate, rukom možete upisati oznake skale, recimo za svakih  $10^\circ$ , počevši od  $0^\circ$  na dnu lijevo, pa do  $90^\circ$  na vrhu skale na desnoj strani. Križićem je označeno mjesto na kojem treba ugraditi mali čavlić ili kukicu na koju ćemo objesiti visak.

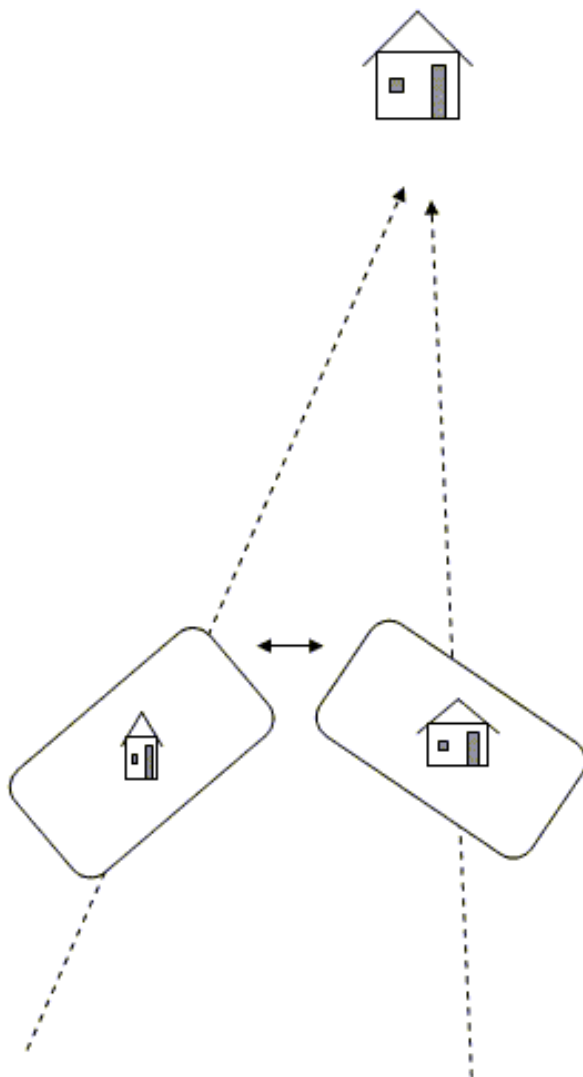
## TELESKOP IZ LEĆA ZA NAOČALE

### Objektiv

Izrada teleskopa od leća za naočale izvrsna je priprema za ozbiljnije projekte. Uz to je prikladna i za mlađe učenike jer ne traži nikakvo tehničko predznanje, a potrebne leće lako se nabave. Ponos graditelja svojeg prvog instrumenta pri tome itekako nadvladava ograničenost takvog instrumenta, pa zato ovdje dajem opis njegove izrade.

Leće za naočale nisu akromatične, pa nam je za objektiv potrebna leća najveće moguće praktične žarišne daljine. Objektiv nabavljamo prvi jer njegova žarišna daljina određuje duljinu cijelog instrumenta. Preporučljiva žarišna daljina je oko 1000 mm, a može se upotrijebiti svaka leća sa žarišnom daljinom između 500 i 1500 mm. Kraće žarišne daljine nepovoljne su jer je kromatska pogreška prejako izražena, pa se otvor leće mora suviše smanjiti da bi leća bila upotrebiva. Žarišne daljine veće od 1000 mm nezgodne su jer cijeli instrument postaje previše dug. No, ako nađete na leću veće žarišne daljine i ne smeta vas teleskop veće dužine, nema razloga da ga ne pokušate izraditi. Kako je kod nas praktički nemoguće kupiti leće u trgovini, uglavnom smo ograničeni na leće naočala. Pri tome je najbolje upotrijebiti leće iz starih naočala jer one ništa ne koštaju. Naravno trebaju nam sabirne leće bez tzv. cilindra. Nepravilni oblik korištene leće za naočale pri tome ne smeta; dovoljno je da leća u promjeru ima 2 do 3 cm. Nekoliko ogrebotina također neće smetati i na njih se ne treba obazirati. Ukoliko ova potraga ne uspije, pokušajte zamoliti najbližeg očnog optičara da vam pokloni ili proda jednu leću za naočale. Ta leća može biti i okrhnut, s nepravilnim rubovima, jer nam za teleskop i onako trebaju središnjih centimetar-dva. Raspitajte se i u trgovinama koji prodaju rabljenu robu. Neki puta se tamo za male novce mogu nabaviti predleće za fotoaparate koje također mogu dobro poslužiti, a obično su bolje optičke kvalitete od leća za naočale.

Kod leća za naočale treba obratiti pažnju na još jedan detalj: za izradu teleskopa potrebne su leće čije plohe su dijelovi kuglinih ploha. Ovakve leće nazivaju se sfernim lećama. Za popravak nekih pogrešaka vida koriste se leće čije plohe nisu dijelovi kuglinih ploha. Takve leće nazivaju se cilindrične ili torusne leće. One su za ovu svrhu neupotrebljive. Dakle, ako nabavljate novu leću za naočale, morate tražiti sfernu leću. Ako ste našli neku staru leću, treba provjeriti da li je sferna. To je vrlo jednostavno učiniti a postupak je zorno ilustriran na slici 49. Leća se drži dvadesetak centimetara ispred oka i lagano okreće amo-tamo. Ako se kod toga slika predmeta gledanih kroz leću lagano širi i skuplja, leća nije sferna i ne može se upotrijebiti za izradu teleskopa. Ako ni nakon ovog ispitivanja niste sasvim sigurni, možete leću odnijeti kod najbližeg očnog optičara i zamoliti ga da on provjeri da li je leća sferna.



**Slika 49:** Provjeravanje da li je leća sferna. Ako se kod okretanja leće oko njene osi slika udaljenih predmeta gledanih kroz nju mijenja (nadimlje i sažima) leća nije sferna. Kod sferne leće se kod ovog postupka oblik slike ne mijenja.

Jakost leća za naočale, a i mnogih drugih, izražava se u dioprijama. Pritom je jakost leće jednaka je recipročnoj vrijednosti njezine žarišne daljine u metrima. Drugim riječima

$$\text{jakost (dioptrijska)} = 1/F(\text{m}) \quad \text{odnosno} \quad F(\text{m}) = 1/\text{jakost (dioptrijska)}$$

Naziv jakost nije slučajna. Leća manje žarišne daljine jače lomi svjetlo, njena jakost je dakle veća. Razmislimo li malo o definiciji dioptrijske vidjet ćemo da žarišnoj daljini od 1 m, odn. 1000 mm, odgovara jakost od 1 dioptrijske, a žarišnoj daljini od 500 mm jakost od 2 dioptrijske, itd. Za naš objektiv potrebna nam je dakle leća jakosti između 1 i 2 dioptrijske, iako i leća jakosti 0.75 dioptrijske (žarišna daljina 1333 mm) može dobro poslužiti.

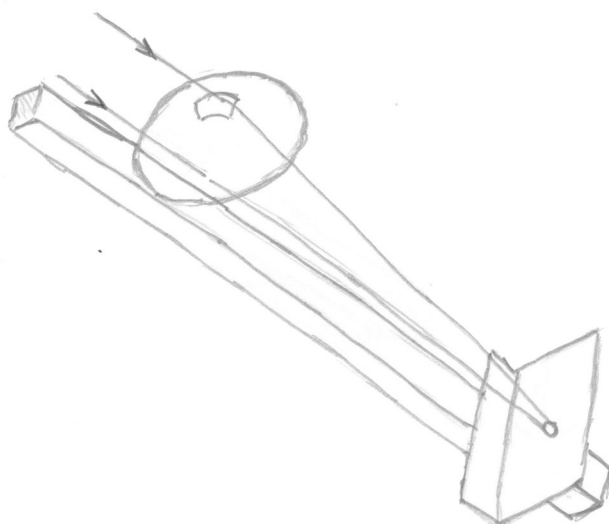
**Tablica 18:** Veza između žarišne daljine,  $F$  (u mm) i jakosti leće (u dioptrijama). Nadalje je u tablici dano mnoštvo korisnih podataka vezanih uz pojedini objektiv. Tu su redom maksimalni otvor objektiva (u mm) koji se može koristiti kod malih povećanja ( $D_m$ ) te minimalno ( $P_{min}$ ) i srednje povećanje ( $P_s$ ) kod tog otvora. Iza svakog povećanja navedena je i žarišna daljina okulara ( $f_{ok}$ ) potrebna za to povećanje. Slijedi (donja tablica) maksimalni otvor  $D_{kr}$  (u mm) koji se može koristiti a da kromatska pogreška ne bude primjetna, te maksimalno povećanje,  $P_{max}$ , za ovaj smanjeni otvor. Svi podaci koji slijede odnose se na manji otvor kod kojeg kromatska pogreška nije primjetna. To su redom granična zvjezdana veličina za normalne ( $m_g$ ) i idealne uvjete ( $m_{gi}$ ) opažanja, razlučivanje,  $R$  u lučnim sekundama koje ovakav objektiv može postići, i na kraju najveće moguće pravo vidno polje (u stupnjevima) za promjer okularne cijevi od 30 mm. Ne zaboravite da se svi ovi podaci odnose na objektiv od jednostavne leće. Kod povećanog otvora ( $D_{max}$ ) mogu se doseći granične zvjezdane veličine za oko 1 zvjezdanu veličinu veće od onih u tablici.

F	jačina	$D_m$	$P_{min}$	$f_{ok}$	$P_s$	$f_{ok}$
2000	0,50	45	7	280	15	135
1333	0,75	35	5	265	12	110
1000	1,00	30	4	250	10	100
800	1,25	30	4	200	10	80
667	1,50	25	4	165	8	85
572	1,75	25	4	145	8	71
500	2,00	25	4	125	8	62
444	2,25	20	3	150	7	63
400	2,50	20	3	135	7	57

F	$D_{kr}$	$P_{max}$	$f_{ok}$	$m_g$	$m_{gi}$	R	VP
2000	22	65	31	8,5	10,2	6"	0,9°
1333	18	55	24	8,1	9,8	7	1,3
1000	16	48	21	7,8	9,5	8	1,7
800	14	42	19	7,6	9,3	9	2,2
667	13	39	17	7,4	9,1	9	2,6
572	12	36	16	7,2	8,9	10	3,0
500	11	33	15	7,0	8,7	11	3,5
444	11	33	15	7,0	8,7	11	3,9
400	10	30	13	6,8	8,5	12	4,3

Kad smo nabavili leću za objektiv, moramo joj odrediti točnu žarišnu daljinu. To vrijedi i za slučaj da smo nabavili novu leću za naočale za koju znamo njenu snagu. Naime, kod masovne

izrade leća uvijek se pojavljuju mala odstupanja od traženih vrijednosti. Ako je žarišna daljina leće nešto veća od one koju smo izračunali iz njene nazivne snage, a mi smo cijev našeg teleskopa unaprijed odrezali, cijev će biti prekratka pa nećemo moći izoštriti sliku. Zato poslušajmo onu narodnu koja kaže "tri puta mjeri, jednom reži" pa prvo izmjerimo žarišnu daljinu leće. Za to, a i ostala mjerenja žarišne daljine koja ćemo raditi, izradimo primitivnu optičku klupu. Za to će dobro poslužiti dugo ravnalo, ili komad drvene letve, ili bilo što slično što imamo pri ruci. Važno je jedino da naša "klupa" bude malo duža od žarišne daljine koju želimo mjeriti, i naravno, da bude koliko-toliko ravna.



**Slika 50:** Jednostavna optička klupa izrađena od priručnog materijala.

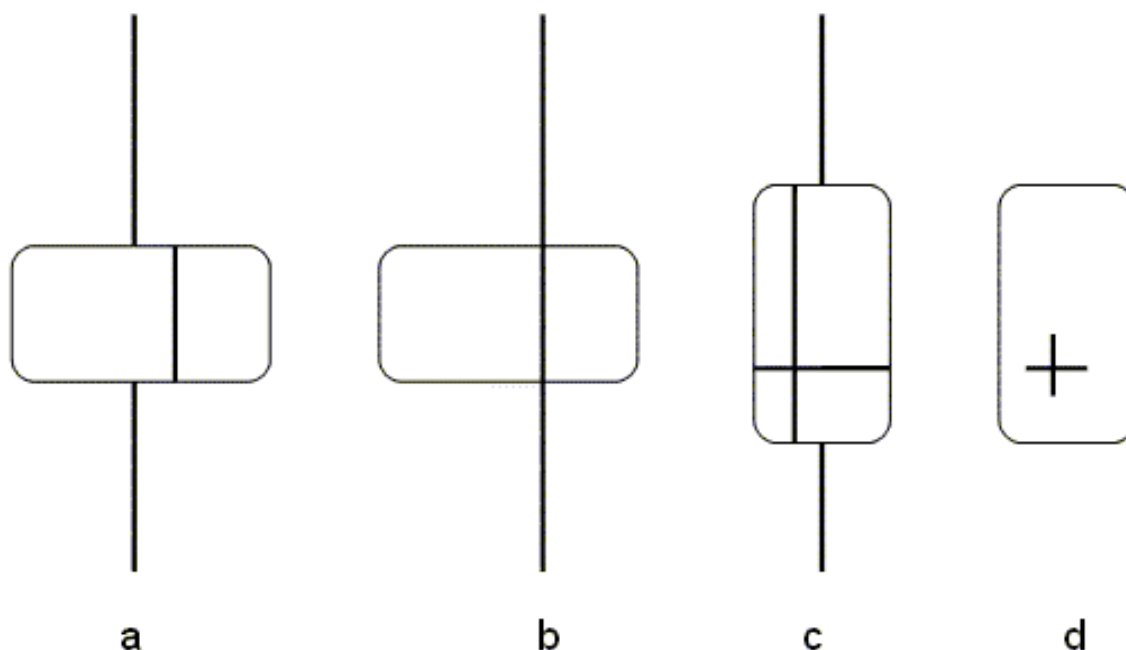
Na jedan kraj klupe ljepilom ili ljepljivom trakom pričvrstimo komad tvrdog bijelog papira tako da stoji okomito na površinu klupe. Najlakše ćemo to napraviti ako donji dio (1-2 cm) papira savinemo pod pravim kutem i pričvrstimo na klupu. Uspravni dio papira treba biti jednako velik ili malo veći od leće. Sad nam treba suradnja vremena. Pričekajmo sunčani dan pa onu stranu naše klupe na kojoj je papir stavimo na pod i pridržimo jednom rukom. Drugom rukom prislonimo leću uz klupu i sve skupa usmjerimo tako da leća baca sliku Sunca na papir. Leću pomičemo naprijed-natrag sve dok slika Sunca na papiru ne bude najoštrija (najmanja). U tom trenutku zabilježimo položaj leće i izmjerimo njenu udaljenost od papira. Kako leće tvore ostru sliku udaljenih predmeta u svojem žarištu izmjerili smo na taj način žarišnu



daljinu naše leće. Na isti način možemo kasnije izmjeriti i žarišne daljine leća koje ćemo koristiti za okulare. Dodajmo da se na ovaj način mogu mjeriti samo žarišne daljine tankih pozitivnih leća. Kod optičkih sistema složenih od nekoliko leća udaljenost slike od kućišta objektiva više ne odgovara žarišnoj daljini. Kod našeg objektiva ne treba nam velika točnost u mjerenju, jer pogreške manje od 1 cm ne igraju nikakvu ulogu. Kod leća za okulare koje imaju mnogo manje žarišne daljine, moramo se potruditi da mjerenja budu što točnija. Najbolje je da ih nekoliko puta ponovimo i kao rezultat uzmemo srednju vrijednost svih tih mjerenja.

Ako za ova mjerenja ne možemo upotrijebiti Sunce, bit će dobri i svi objekti koji su od nas udaljeni za više od oko 500 žarišnih daljina leće (za naše objektivne 500-1000 m), jer je i tada slika praktički u žarištu leće. Za ovakva mjerenja najpodesnije su razne ulične lampe i drugi izvori svjetla, ali su mjerenja znatno teža jer ih moramo raditi u zamračenoj prostoriji.

Na kraju još moramo odrediti optičko središte naše leće. Kod nove leće za naočale ono je označeno malom kapljicom boje u sredini leće. Kod okruglih leća ono se podudara sa mehaničkim središtem leće. Međutim, ako imamo leću koja je izvađena iz okvira za naočale, ona je obično nepravilnog oblika i njeno optičko središte sigurno se ne podudara sa njenom sredinom. Kako optičko središte objektiva mora biti na istoj osi na kojoj je optičko središte okulara (ta os se naziva optička os instrumenta) moramo znati gdje je optičko središte našeg objektiva. Njega je lako odrediti sa točnošću od milimetar-dva, što je u našem slučaju sasvim dovoljno. Na komadu papira povucimo debelu crtu dugu dvadesetak cm. Uzmimo našu leću i držimo je između oka i papira, 20 do 30 cm daleko od oka, tako da crtu vidimo i kroz leću i pokraj nje. Vidjet ćemo da onaj dio crte koji gledamo kroz leću izgleda zakrivljen i pomaknut prema onom dijelu crte izvan leće.



**Slika 51:** Određivanje optičkog središta leće. Na papiru nacrtamo debelu ravnu liniju i gledamo ju kroz leću koju držimo desetak centimetara ispred papira (a). Leću pomičemo tako dugo lijevo-desno dok se linija gledana kroz leću, ne spoji sa linijom koju vidimo izvan leće (b). Optičko središte nalazi se negdje na toj liniji. Markerom je označimo na leći, leću zaokrenemo za  $90^\circ$  (c) i ponovimo postupak. Sad na leći imamo križićem označeno traženo središte (d). Oznaku središta kasnije lako uklonimo trljanjem sa malo vate umočene u alkohol. Nemojte koristiti aceton ili tekućinu za skidanje laka za nokte jer, ako je leća plastična (što je danas česti slučaj) možete ju nepovratno oštetiti.

Pojava je znatno lakše uočljiva ako leću lagano mičemo lijevo-desno. Namjestimo leću tako da nam crta izgleda neprekinuta i ravna, dakle da se onaj dio koji vidimo u leći nastavlja na one dijelove izvan nje. U tom trenutku je optičko središte leće na spojnici našeg oka i crte na papiru. Markerom ili masnom olovkom povucimo po leći crtu tako da ide preko one na papiru, pazeći da pri tome ne pomaknemo glavu ili leću. Sad leću zaokrenemo za  $90^\circ$  i ponovimo postupak. Optičko središte leće bit će u sjecištu dviju linija nacrtanih na leći. Kad leću jednom montiramo na njeno mjesto u našem dalekozoru, ove oznake uklonimo. I da ponovimo: pogreška od milimetar-dva ovdje ne smeta!

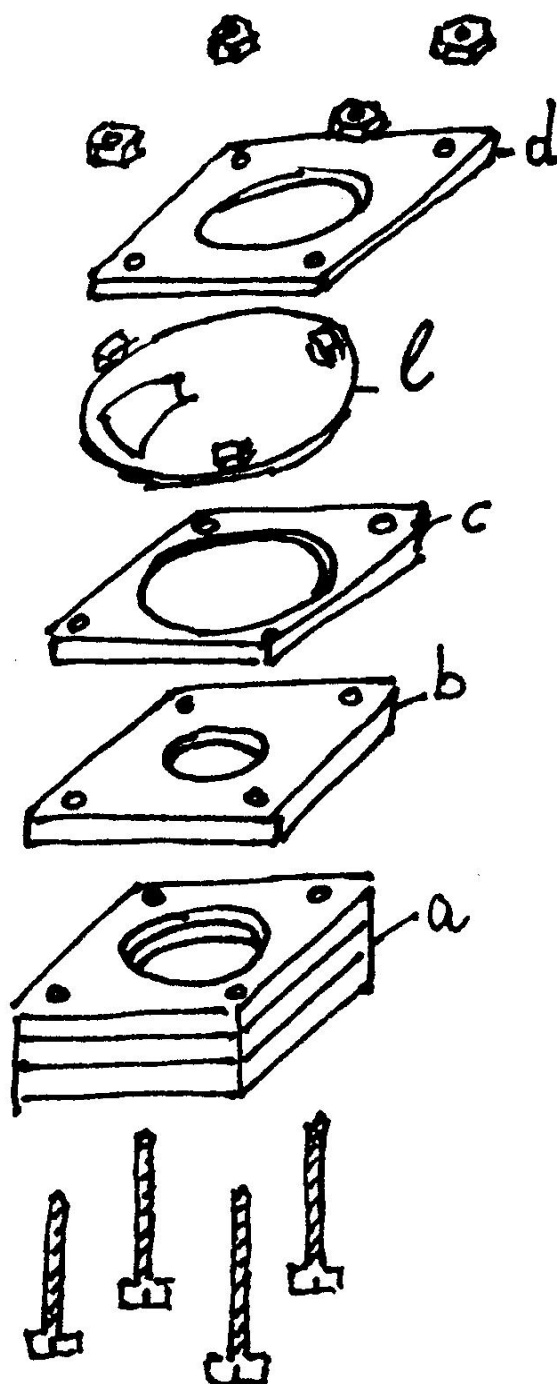
## Cijev teleskopa i kućište objektiva

Kad znamo žarišnu daljinu objektiva, možemo izraditi cijev teleskopa. Za nju nam je potrebna neka cijev unutrašnjeg promjera 3-5 cm, oko 5 cm kraća od žarišne daljine objektiva. Bilo kakva cijev koja nam je pri ruci bit će dobra za tu svrhu. Odlične su kartonske cijevi na koje

se namata platno, pa pokušajte dobiti koju u prodavaonici tkanina. I one nešto jače, na koje se namataju tepisi i slična roba odlične su. Dobre su i plastične cijevi, npr. one sive za kanalizaciju. Za nas ovdje dolaze u obzir one promjera 40 ili 50 mm. Ako uzmemo cijev promjera 50 mm, možemo kasnije prelaznom spojnicom i komadom cijevi od 40 mm izraditi i kompletan okularni dio teleskopa. Možda vam je koja zaostala negdje u kući? Metalne cijevi mogu se upotrijebiti ako nisu preteške. Pa i drvena "cijev" pravokutnog presjeka zbijena od tankih (do 1 cm debljine) dasčica ili šperploče odlična je. Jednostavno upotrijebite ono što imate pri ruci. Obje strane cijevi moraju biti lijepo, okomito odrezane i obrađene brusnim papirom. Tu se možete poslužiti jednostavnim ali vrlo korisnim postupkom: uzmite komad običnog papira i omotajte ga oko cijevi. Kad se rubovi papira poklope jedan sa drugim, taj rub označava okomit presjek cijevi. Papir se u tom položaju učvrsti ljepljivom trakom pa se pažljivo pilom sa sitnim zubima cijev otpili uz rub papira. Rez se može provjeriti kutnikom: vidjet ćete da je zaista okomit na cijev! Da ponovimo: cijev treba biti 5 do 6 cm kraća od žarišne daljine objektiva.

Objektiv moramo učvrstiti okomito na jedan kraj cijevi i to tako da se njegovo optičko središte nalazi na osi cijevi. Ako je promjer leće približno jednak promjeru cijevi, možemo leću jednostavno zalijepiti ljepljivom trakom (pazite da je leća dobro učvršćena da ne ispadne i razbije se) ili ljepilom. Bolje je izraditi sigurno kućište koje će ujedno štititi leću od slučajnih udaraca. I ovdje možete improvizirati-važno je samo to da leća bude sigurno pričvršćena okomito na cijev i da se njeno optičko središte poklapa sa osi cijevi. A za one koji više vole gotova rješenja, evo opisa izrade jednostavnog kućišta!

Za izradu takvog kućišta potrebno nam je 7-8 kvadratića šperploče debele 3 do 6 mm. Umjesto šperploče bit će dobar i lesanit ili sličan materijal a dobre su i tanje drvene dasčice ako su ravne i čvrste. Možete upotrijebiti i deblji karton ili zalijepiti par slojeva tanjeg kartona zajedno. Prednost kartona je da se jednostavno daje rezati skalpelom, pa piljenje otpada. Dakle, opet koristite ono što vam je pri ruci. Stranice kvadratića trebaju biti oko 2 cm veće od promjera leće (ili njene najveće dimenzije ako je nepravilnog oblika), odnosno od vanjskog promjera cijevi ako je leća slučajno manja od nje. Svi kvadratići trebaju biti jednaki, iako i ovdje milimetar-dva razlike ne igra ulogu.



**Slika 52:** Skica sastavljanja kućišta objektiva izrađenog prema opisu u tekstu. Umjesto vijcima, dijelovi kućišta mogu se spojiti i ljepljenjem, ili na neki drugi jednostavni način.

Prvo sve kvadratiće postavimo jedan na drugi i učvrstimo ih ljepljivom trakom. Na jednoj strani tako složenog stupića povučemo lagano olovkom crtu preko svih kvadratića. Na taj smo način označili njihov položaj u stupiću. Kod konačnog sastavljanja kućišta možemo

kvadratiće jednostavno zalijepiti jedan na drugi. Želimo li međutim kasnije kućište rastavljati, npr. radi lakšeg čišćenja leće, moramo umjesto ljepila kvadratiće spajati ljepljivom trakom omotanom po njihovom rubu. Električarska izolir-traka odlična je za to.

Sad odvojimo četiri kvadratića i stavimo ih na stranu. U sredini svih preostalih kvadratića (a) izrežemo rezbarskom pilicom (ili kalpelom ako koristimo karton) okrugle rupe promjera jednakog vanjskom promjeru cijevi teleskopa. Kad se ovi kvadratići stave zajedno, moraju se moći lagano nataknuti na cijev, ali tako da ne ispadaju kad se cijev okrene prema dolje. Kad su rupe izrezane, zalijepite ili povežite kvadratiće zajedno i dotjerajte rupu finom turpijom i brusnim papirom sve dok se ovaj dio kućišta ne bude dao bez prevelike sile nataknuti na cijev. Ako rupa ispadne prevelika, na cijev namotajte malo ljepljive trake ili zalijepite papirnatu traku. Ljepljiva traka od krep-papira (koristi se za zaštitu rubova predmeta kod bojanja pa je možete naći u svakoj prodavaonici boja i lakova) idealna je za to. Nakon toga uzmite jedan od preostala četiri kvadratića (b) i u njegovoj sredini izrežite rupu sa promjerom oko 5 mm manjim od unutarnjeg promjera cijevi i zalijepite ga na kvadratiće s rupom za cijev. Ako je leća manja od unutarnjeg promjera cijevi, izrežite ovu rupu tako da bude 5 mm manja od promjera (ili najmanje dimenzije) leće. Ovaj kvadratić sprječava da kućište preduboko nataknete na cijev, i ujedno služi kao podloga za leću.

Idući kvadratić (c) je držač same leće. Ako je leća okrugla, izrežite u sredini kvadratića rupu sa promjerom jednakim promjeru leće. Ako nije, označite prvo središte kvadratića, na njega stavite leću tako da se njeno optičko središte poklopi sa središtem kvadratića i olovkom precrtajte oblik leće na kvadratić. Kad po toj crti pažljivo izrežete rupu oblika leće, bit će optičko središte leće u sredini kućišta a time i na osi cijevi. U oba slučaja leća mora lagano ulaziti u svoje ležište. Kad kućište okrenete naopako, mora odmah ispasti bez zapinjanja. Po potrebi sjedište leće dotjerajte brusnim papirom. Zračnost od nekoliko dijelova milimetra ovdje ne smeta. I ovaj kvadratić zalijepite na već započeto kućište.

Sad na slijedećem kvadratiću (d) izrežite rupu čiji je promjer oko 5 mm manji od promjera leće. Ako je leća malena, ili nepravilnog oblika, može rupa biti nešto veća, no nikako ne veća od promjera leće umanjeno za 2 mm. Kad se ovaj kvadratić postavi iznad leće zadržavat će je da ne ispadne iz svog ležišta. Ako je materijal iz kojeg su napravljeni kvadratići tanak, ili je leća debela, pritisnut će ovaj zadnji kvadratić direktno staklo leće. Ako stavimo leću u njeno ležište i lagano na nju spustimo zadnji kvadratić, lako ćemo ustanoviti da li je to slučaj ili ne. Ako kvadratić dira staklo, moramo podebljati ležište leće. Za to upotrijebimo zadnji kvadratić iz kojeg izrežemo dio istog oblika kao i prvo ležište, pa ih postavimo jednog na drugog. Ako pak leća klopata, podmetnimo pod poklopac (zadnji kvadratić) na nekoliko mjesta po obodu leće par komadića mekane spužve tako da oni lagano pritisnu leću na njeno mjesto. Tu budite oprezni jer preveliki pritisak može deformirati, ili čak i slomiti, leću. Na kraju slijepimo cijelo kućište zajedno sa lećom u njemu i kad se ljepilo osuši nataknemo ga na cijev teleskopa. Želimo li leću kasnije vaditi van iz kućišta, zadnji kvadratić učvrstimo tako da ga po rubu spojimo izolir-trakom sa ostatkom kućišta. Izolir-traka može se kasnije bez problema opet skinuti i leća izvaditi iz kućišta, npr. radi čišćenja.

## Okular i okularna cijev

Najjednostavniji okular sastoji se od jedne pozitivne leće veće snage (manje žarišne daljine) od objektiva. Ako je leća plankonveksna (tj. jedna strana joj je ravna, a druga ispupčena) okrenemo ravnu stranu prema objektivu. Ako je bikonveksna (obje strane ispupčene) okrenemo blaže zakrivljenu stranu prema objektivu. Možemo naići i na tzv. meniskus leću kod koje je jedna strana ispupčena a druga udubljena. Leće naočala najčešće su tog tipa. Kod takvog tipa leće je najbolje pokusom odrediti u kojem položaju daje bolju sliku.

Iz tablice sad očitamo opseg korisnih povećanja i žarišnih daljina okulara koje nam za ta povećanja trebaju. Naoružani ovim znanjem možemo početi tražiti prikladnu leću za okular. Žarišne daljine okulara za mala povećanja u pravilu vrlo velike, i kod njih promjer okularne cijevi jako ograničava vidno polje, naročito kod većih žarišnih daljina objektiva. Za prvi okular najbolje je nabaviti leću koja daje povećanje u blizini srednjeg povećanja za dani objektiv. Kasnije možemo lako dodati okulare za veća i manja povećanja.

Za manja povećanja bit će nam dovoljna i leća za naočale veće snage, negdje između 4 i 10 dioptrija. Tražimo također i razne vrste povećala, leća od starih dvogleda, fotoaparata i sl. Iskoristive su plastične leće jeftinih naočala koje se mogu kupiti u skoro svakoj većoj trgovini. Nađemo li okular od starog dvogleda ili mikroskopa možemo ga bez problema upotrijebiti. Čak i plastične leće kakve se ponekad nađu na raznim ravnalima, trokutima, dječjim igračkama i sl. mogu biti upotrebljive. Treba ih svakako isprobati. Ako nađemoj leći ne znamo žarišnu daljinu, izmjerimo je uz pomoć naše optičke klupe, kako je to već prije bilo opisano. Nemojte odmah tražiti okular za najveće moguće povećanje. Izradite prvo teleskop sa manjim povećanjem i naučite se njime služiti. Baratanje teleskopom kod velikih povećanja nije jednostavno pa je mnogo pametnije prvo savladati vještinu opažanja s manjim povećanjima.

Da bi se slika mogla izoštravati, okular se montira na kraću cijev koja se može pomicati unutar cijevi teleskopa. Ova cijev duga je 15 do 20 cm, ili više, ako želimo koristiti i najmanja povećanja kod objektiva velike žarišne daljine. Okular može biti čvrsto montiran na nju, ali se okularna cijev češće izrađuje tako da se okulari mogu lako mijenjati. Za naš jednostavni teleskop bit će dobra bilo kakva cijev dužine 20-30 cm koja se može umetnuti u cijev teleskopa. Ova cijev mora lagano kliziti, ali ne smije sama ispadati iz cijevi teleskopa kad se teleskop usmjeri prema gore. Ako je promjer okularne cijevi premalen, možemo na nju namotati nekoliko slojeva ljepljive trake, ili na nju lijepiti traku papira sve dok ne dobijemo potreban promjer. Ako je promjer okularne cijevi znatno manji od unutrašnjeg promjera cijevi teleskopa, bolje je izraditi umetak koji će biti čvrsto uglavljen u cijev teleskopa i čiji nutranji promjer će odgovarati okularnoj cijevi. Najjednostavnije je takav umetak izraditi namatanjem papirnatih trake. Prvo na okularnu cijev namotamo jedan sloj što tanjeg papira i učvrstimo ga sa nekoliko komadića ljepljive trake. Tanki papir štitić će okularnu cijev od ljepljivosti i osigurati da izrađeni umetak ne bude pretijesan. Od čvršćeg papira (papir za zamatanje paketa, tvrdi papir za crtanje, tzv. hamer i sl.) izrežemo trake širine 4 do 5 cm. Prvu traku namotamo na okularnu cijev preko tankog papira, zategnemo rukom i olovkom označimo mjesto gdje počinje drugi namotaj trake. Traku skinemo i ljepilom za papir namažemo onaj dio trake koji kod namatanja prelazi preko prvog namotaja. Traku ponovno namotamo na okularnu cijev, pazeći da bude zategnuta. Višak ljepila koji izađe sa strane van obrišemo da se traka ne

zalijepi na okularnu cijev, odnosno zaštitni papir na njoj. Ovako namotanu traku možemo za trenutak učvrstiti gumicom ili ljepljivom trakom, dok za namatanje ne pripremimo slijedeću traku. Nju cijelu namažemo ljepilom i namotamo je preko prve, tako da početak ove trake bude uz kraj prethodne (ne smiju se preklapati da preklop ne pokvari oblik umetka). Na ovaj način redom namatamo nove trake tako dugo dok vanjski promjer umetka ne bude odgovarao unutrašnjem promjeru cijevi teleskopa. Umetak se mora moći bez veće sile umetnuti u cijev teleskopa. Gotov umetak osiguramo od odmatanja ljepljivom trakom ili gumicama i ostavimo preko noći da se dobro osuši. Sutradan prvo izvučemo iz njega okularnu cijev. Ako se pri tome onaj tanki papir, koji smo namotali na okularnu cijev kao zaštitu, ošteti, ne smeta jer njega i onako treba ukloniti. Bez njega bi okularna cijev trebala lako ulaziti u umetak, ali bez ispadanja. Ako je okularna cijev prelabava, zalijepimo na unutrašnju stranu umetka malo ljepljive trake.

Nakon toga provjerimo da li umetak ulazi u cijev teleskopa. I opet, ako je umetak prelabav, na njega nalijepimo malo papirne trake. Nakon toga cijeli umetak namažemo ljepilom i do kraja umetnemo u cijev teleskopa. Vrsta ljepila ovaj puta ovisi o materijalu iz kojeg je izrađena cijev teleskopa. Ako je cijev teleskopa papirnata, možemo uzeti isto ljepilo koje smo koristili kod izrade umetka, a ako nije, moramo upotrijebiti ono koje može zalijepiti papir na materijal cijevi. U nuždi možemo umetak izraditi malo debljim pa ga bez ljepila nabiti u cijev teleskopa. U tom slučaju kod izrade umetka na okularnu cijev metnite deblji zaštitni papir i fino prilagođavanje umetka i okularne cijevi ostavite za kraj, kad je umetak već utisnut u cijev teleskopa.

Leću našeg jednostavnog okulara moramo učvrstiti na kraj okularne cijevi. Ako joj je promjer manji od otvora cijevi, možemo u cijev umetnuti umetak izrađen namatanjem papira kako je to već opisano. Ako je veći, možemo kraj okularne cijevi zadebljati namatanjem papira ili ljepljive trake dok mu promjer ne postane jednak promjeru leće. Leću sad možemo učvrstiti ljepljivom trakom ili joj istom tehnikom izraditi ležište. Važno je samo da leća bude sigurno pričvršćena i da joj je središte u osi okularne cijevi. Imamo li više okulara, možemo svaki učvrstiti na vlastitu okularnu cijev, ili za svaki okular namatanjem papira izraditi mali držač koji će ga držati u kraju okularne cijevi. Tako možemo imati samo jednu okularnu cijev i nekoliko okulara koje lako po potrebi možemo mijenjati, kako se to radi na velikim teleskopima.

## Vidno polje kod malih povećanja

Kod objektiva f-broja većeg od oko 8 (svi naši objektivi spadaju u ovu grupu!) vidno polje kod malih povećanja ograničeno je unutarnjim promjerom okularne cijevi. Naime, kad žarišna daljina objektiva raste, raste i veličina slike u njegovom žarištu. Primjerice, kod žarišne daljine od 1 metra, uz minimalno povećanje od 4 puta (prema našoj tablici) promjer slike u žarištu koji odgovara prividnom vidnom polju od  $30^\circ$  je 120 mm! I leće okulara trebaju tada biti ove veličine a promjer okularne cijevi bi trebao biti još i veći, što na kraju znači da bi promjer tubusa teleskopa trebao biti još veći. Od promjera objektiva od 30 mm došli bismo tako do monstruozne cijevi promjera 15tak centimetara. To je vrlo nepraktično i glomazno i takvi se teleskopi jednostavno ne grade. Umjesto toga teleskopi velikih f-brojeva se ne koriste

kod najmanjih povećanja. U našoj tablici u zadnjoj je rubrici uneseno najveće pravo vidno polje koje naš teleskop može imati ako je unutarnji promjer okularne cijevi 30 mm. Kod većih promjera okularne cijevi ovo je polje proporcionalno veće, no vidimo da bez upotrebe vrlo velikih promjera ne možemo kod ovakvih teleskopa dobiti velika vidna polja. To je karakteristika gotovo svih refraktora, osim onih specijalno građenih za mala povećanja, no ti su vrlo skupi i neprikladni za velika povećanja. Recimo za ilustraciju da je kod dalekozora, kod kojih se uvijek koriste mala povećanja, upravo zbog ovog razloga F-broj između 3 i 4, ali su zato njihovi objektivni neupotrebljivi za velika povećanja jer su preostale optičke pogreške prevelike. Kako je refraktor poznat po izuzetnoj kvaliteti slike koju daje, koriste se on uglavnom za velika povećanja, pa ograničeno vidno polje kod malih povećanja ne predstavlja veliki problem.

## Zaslони i pokusi sa njima

Naš je teleskop završen i spreman za prvo opažanje. Preostalo nam je još da otvor objektiva smanjimo na veličinu kod koje kromatska pogreška neće biti primjetna. Prvo iz tablice očitamo najveći promjer objektiva kod kojeg kromatska pogreška još nije primjetna. Ovaj otvor koristit ćemo kod opažanja sjajnih objekata, uglavnom Mjeseca ili planeta velikim povećanjem. Kod objekata slabijeg sjaja kromatska pogreška nije tako uočljiva, pogotovo ako se koristi i manje povećanje, pa se otvor objektiva može znatno povećati, čime dobivamo više svjetla. Najveći upotrebljivi promjer objektiva za određeno opažanje najbolje je odrediti pokusom. Za tu potrebu izradimo nekoliko zaslona sa otvorima različitih promjera, počevši sa promjerom iz tablice kao najmanjim, i povećavajući promjer svakog idućeg zaslona za nekoliko milimetara. Zaslone najlakše izrežemo iz čvršćeg papira. Kod opažanja možemo onda isprobavati razne otvore zaslona i odabrati najveći kod kojeg je slika još zadovoljavajuće kvalitete. Svakako vodite bilješke o promatranjima i svim pokusima ove vrste uz njih. Usporedite svoje rezultate sa podacima iz tablice!

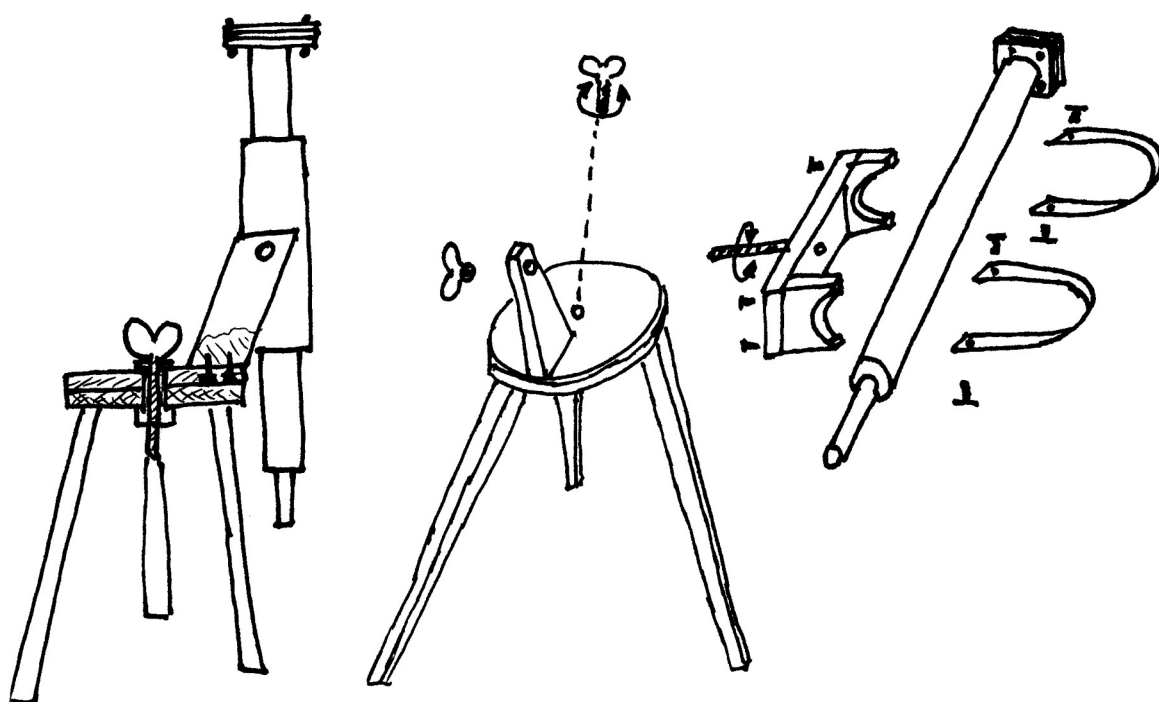
## Čišćenje i održavanje leća

Leće su izrađene od stakla čije površine su vrlo precizno obrađene i uglačane. One su osjetljive na ogrebotine, kiseline iz ljudske kože, vlagu i masnoće. Zato ih treba čuvati na suhom mjestu bez prašine. Kad ne koristite svoj teleskop, leće zaštitite plastičnim vrećicama navučenim preko krajeva teleskopa. Leće ne dodirujte prstima. Kad se s vremenom ipak zamažu, treba ih oprati u mlakoj, blagoj otopini sapunice ili mlakoj vodi u koju je dodano nekoliko kapi sredstva za pranje stakla ili posuđa. Oprane leće treba obrisati mekom, suhom krpicom, pazeći da ih se ne dodiruje prstima. Najbolje su stare krpice od prirodnih materijala koje su mnogostrukim pranjem omekšane. Nikad nemojte leće trljati na suho i uz pritisak jer ih lako možete izgrepsiti sitnim česticama prašine i pijeska koje su prisutne u zraku i koje stalno padaju na leće. S plastičnim lećama treba postupati još opreznije jer su mekše od staklenih. No i tu je blaga sapunica i meka krpica sasvim dovoljna.



Ako se pak na leći i pojavi neka ogrebotina (s vremenom je to zapravo neizbježno) nemojte očajavati, jer par ogrebotina neće primjetno utjecati na kvalitetu slike. Iznima su jako velike ogrebotine na lećama okulara, a u tom slučaju nema druge nego zamijeniti okular novim.

## Stalak



**Slika 53:** Jednostavan stalak koji omogućava usmjeravanje teleskopa u svaki dio nebeskog svoda. Ovo je tzv. alt-azimutalni stalak jer se teleskop okreće oko vertikalne (kratica alt dolazi altitude, međunarodne riječi za visinu) i horizontalne (azimutne) osovine. Desno je glava stalka prikazana u djelomičnom presjeku da bi se bolje vidjela konstrukcija azimutalne osovine i istak nosača horizontalne osovine potreban da bi se teleskop mogao usmjeriti u zenit.

Ako teleskop ima povećanje veće od oko 10 puta, vrlo brzo ćemo primijetiti da ga je gotovo nemoguće držati dovoljno mirno. Uz povećanje slike, teleskop naime jednako tako povećava i trešnju ruku. Možemo si pomoći tako da teleskop naslonimo na čvrsti oslonac, ali je mnogo bolje izraditi solidan stalak za njega. Stalaka zaista ima bezbroj vrsta, a za naš teleskop bit će dobar svaki koji je dovoljno jak da se ne trese kad na njega postavimo naš teleskop. Promatramo li uvijek sa istog mjesta, možemo na tom mjestu postaviti drveni, metalni ili betonski stup na koji ćemo postaviti glavu stalka. Za prenosni stalak podesne su razne vrste

tronožaca koje možemo izraditi od drvenih letvi ili sličnog materijala. Stari fotografski stalci također su vrlo korisni.

Glava stalka, koja nosi sam teleskop, mora omogućiti okretanje teleskopa oko vodoravne i oko vertikalne osovine da bismo ga mogli usmjeriti u bilo koji dio neba. I opet upotrijebite priručni materijal. Jedna jednostavna glava stalka skicirana je na slici 53. Da li je stalak dovoljno stabilan, najbolje se vidi kod upotrebe. Ako ste ga izradili od priručnog materijala bit će ga lako pojačati ili zamijeniti jačim a da vas to novčano ne uništi, a uz to ćete steći iskustva koja je praktički nemoguće prenijeti preko ovako kratkih uputa.