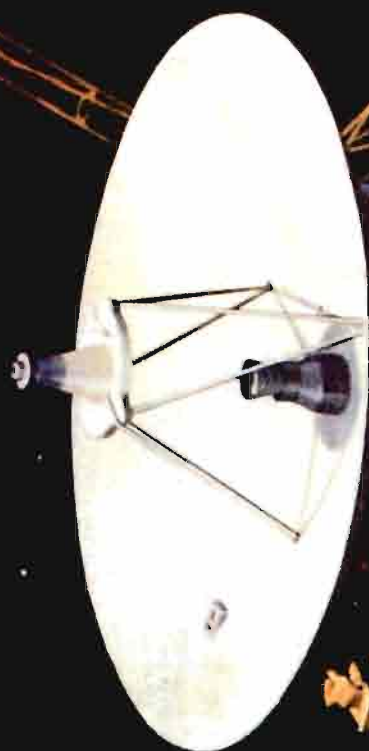


30.628

BRANISLAV M. ŠEVARLIĆ

astronomija

ZA IV RAZRED USMERENOG OBRAZOVANJA



Naučna Knjiga • BEOGRAD

BRANISLAV ŠEVARLIĆ

ASTRONOMIJA

za IV razred usmerenog obrazovanja
matematičko-tehničke struke

Naučna Knjiga

Beograd, 1980.

Dr BRANISLAV ŠEVARLIĆ, profesor PMF-a u Beogradu

ASTRONOMIJA za IV razred usmerenog obrazovanja
matematičko-tehničke struke

Recenzenti

Dr Đorđe Teleki, naučni savetnik Astronomske opservatorije u Beogradu

Dr Jovan Simovljević, vanredni profesor PMF-a u Beogradu

Emilo Đanić, savetnik za fiziku u Republičkom zavodu za unapređjivanje
vaspitanja i obrazovanja

Elaborat sačinili

Dr Pavle Miličić, docent PMF-a u Beogradu

Dr Jovan Đorđević, profesor Filozofskog fakulteta u Beogradu

Dr Stanislav Grozdanić, profesor FPN-a u Beogradu

Dr Asim Peco, profesor Filološkog fakulteta u Beogradu

Odobreno, na sednici Komisije za matematičko-tehničku struku Zajednice
usmerenog obrazovanja za teritoriju Republike od 13. VI 1980. godine pod
brojem 05-610.120/146 kao udžbenik za IV razred usmerenog obrazovanja.

Glavni urednik

Dragoslav Joković

Tehnički urednik

Nikola Dončev

Korice

Vasil Micevski

Tiraž: 8000

Štampa

Štamparija „Bakar“ – Bor

S A D R Ž A J

	<i>Strana</i>
<i>GLAVA I</i>	
<i>U v o d</i>	9
1.1. <i>Predmet izučavanja astronomije i opšta znanja o vasioni</i>	11
1.2. <i>Značaj astronomije i njene veze s drugim naukama</i>	12
1.3. <i>Kratak pregled istorijskog razvoja astronomije</i>	12
 <i>GLAVA II</i>	
<i>Nebeska sfera i njeno prividno dnevno obrtanje. Zemljina rotacija</i>	17
2.1. <i>Osnovni pojmovi i definicije</i>	17
2.2. <i>Orijentacija na nebu. Sazveždja</i>	18
2.3. <i>Prividno obrtanje nebeske sfere. Zvezdani dan</i>	20
2.4. <i>Elementi nebeske sfere izvedeni iz njenog prividnog dnevnog obrtanja</i>	22
2.5. <i>Zemljina rotacija. Dokazi</i>	23
2.6. <i>Horizontski koordinatni sistem</i>	25
2.7. <i>Mesni ekvatorski koordinatni sistem. Zvezdano vreme</i>	26
2.8. <i>Nebeski ekvatorski koordinatni sistem</i>	28
2.9. <i>Prividno dnevno obrtanje nebeske sfere posmatrano sa raznih tačaka na Zemlji</i>	29
<i>Z a d a c i</i>	30
<i>Posmatranja</i>	31

GLAVA III

<i>Prividno godišnje kretanje Sunca. Zemljina revolucija</i>	33
3.1. <i>Prividno godišnje kretanje Sunca i njegove posledice</i>	33
3.2. <i>Ekliptički koordinatni sistem</i>	35
3.3. <i>Oblik same Sunčeve prividne godišnje putanje i način Sunčevog prividnog kretanja po njoj</i>	36
3.4. <i>Objašnjenje prividnog godišnjeg kretanja Sunca Zemljinom revolucijom</i>	38
3.5. <i>Orijentacija na Zemlji, u prostoru i vremenu, pomoću Sunca i zvezda</i>	38
3.6. <i>Pravo, srednje i građjansko vreme</i>	40
3.7. <i>Mesno vreme. Zonsko i ukazno vreme</i>	42
3.8. <i>Časovna služba</i>	45
3.9. <i>Efemeridsko vreme. Nova definicija sekunde</i>	47
<i>Atomsko vreme</i>	47
3.10. <i>Veće jedinice za vreme. Kalendar</i>	48
3.11. <i>Geografske koordinate</i>	50
3.12. <i>Primena astronomije u geodeziji, kartografiji i geofizici</i>	52
3.13. <i>Primena astronomije u prekomorskoj i vazdušnoj plovidbi</i>	53
<i>Z a d a c i</i>	54
<i>Posmatranja</i>	55

GLAVA IV

<i>Prividno i pravo kretanje Meseca</i>	57
4.1. <i>Mesečeva daljina i prava veličina</i>	57
4.2. <i>Prividno Mesečevo kretanje. Mesečeve mene</i>	58
3.5. <i>Pravo kretanje Meseca</i>	59
4.4. <i>Mesečeva rotacija. Libracije</i>	59

4.5. Mesečeva i Sunčeva pomračenja	61
4.6. Orijehtacija na Zemlji, u prostoru i vremenu, pomoću Meseca	65
Z a d a c i	66
Posmatranja	66
GLAVA V	
Prividno i pravo kretanje planeta	69
5.1. Prividno kretanje planeta. Geocentrični sistem	69
5.2. Pravo kretanje planeta. Kopernikov helio- centrični sistem	70
5.3. Galilejeva otkrića. Borba crkve protiv nauke	73
5.4. Siderička i sinodička revolucija	75
5.5. Keplerovi zakoni pravog kretanja planeta iz- vedeni iz posmatranja	75
5.6. Elementi planetskih putanja	79
5.7. Njutnov zakon gravitacije izveden iz Keple- rovih zakona	80
5.8. Problem dvaju i više tela	83
5.9. Precesija i nutacija	84
5.10. Plima i oseka. Korišćenje njihove energije ..	85
5.11. Savladjivanje gravitacije. Vasijske letilice. Jednačina Ciolkovskog	87
5.12. Kosmičke brzine	88
Z a d a c i	92
Posmatranja	92
GLAVA VI	
Daljine i veličine nebeskih tela	95
6.1. Dnevna paralaksa. Odredjivanje daljina tela u Sunčevom sistemu	95

	<i>Strana</i>
6.2. Radarska metoda	96
6.3. Odredjivanje pravih veličina nebeskih tela Sunčevog sistema	96
6.4. Godišnja paralaksa. Odredjivanje zvezdanih daljina	96
6.5. Astronomske jedinice za daljinu	97
6.6. Godišnja paralaksa kao dokaz Zemljine revolucije	97
Z a d a c i	98
Posmatranja	98
 GLAVA VII	
Zračenje nebeskih tela i osnovni instrumenti za njihovo merenje	101
7.1. Teleskop-refraktor	101
7.2. Teleskop-refraktor	102
7.3. Fotografske metode	102
7.4. Fotoelektrični fotometri	103
7.5. Vrste elektromagnetnog zračenja nebeskih tela. Spektroskop i spektrograf	103
7.6. Radioteleskopi i radiointerferometri	104
Z a d a c i	106
Posmatranja	106
 GLAVA VIII	
Sunčev sistem	109
8.1. Osnovne odlike Sunčevog sistema	109
8.2. Odlike mirnog Sunca	109
8.3. Sunčeva aktivnost	112
8.4. Korišćenje Sunčeve energije	114
8.5. Zemlja i njena atmosfera. Osnove geofizike	115

	<i>Strana</i>
8.6. <i>Fizičke odlike Meseca</i>	121
8.7. <i>Fizičke odlike velikih planeta i njihovih satelita</i>	125
8.8. <i>Odlike manjih tela Sunčevog sistema: planetoida, kometa, meteora, meteorita, medjuplanetske materije</i>	132
8.9. <i>Poreklo i razvoj Sunčevog sistema</i>	139
<i>Z a d a c i</i>	139
<i>Posmatranja</i>	140
 <i>GLAVA IX</i>	
<i>Zvezde</i>	143
9.1. <i>Prividne i apsolutne veličine zvezda</i>	143
9.2. <i>Određjivanje daljina i pravih veličina zvezda iz zakona zračenja</i>	145
9.3. <i>Sopstvena kretanja i prostorne brzine zvezda</i> ..	146
9.4. <i>Hemijski sastav, fizičke osobine i tipovi zvezda</i>	147
9.5. <i>Hercšprung-Raselov dijagram</i>	148
9.6. <i>Izvori zvezdane energije</i>	151
9.7. <i>Dvojne i višestruke zvezde</i>	152
9.8. <i>Promenljive zvezde</i>	154
9.9. <i>Nove i supernove zvezde</i>	156
9.10. <i>Pulsari</i>	158
<i>Z a d a c i</i>	159
<i>Posmatranja</i>	159
 <i>GLAVA X</i>	
10.1. <i>Mlečni put Galaksija</i>	161
10.2. <i>Galaktički koordinatni sistem</i>	163

10.3.	Zvezdana jata	163
10.4.	Medjuzvezdana materija	165
10.5.	Magline	166
10.6.	Zvezdana evolucija	167
Z a d a c i	169
Posmatranja	169

GLAVA XI

Galaksije i kvazari	171
11.2. Hablov zakon i njegovo značenje	172
11.3. Kosmološke hipoteze i mikrotalasno zračenje	173
11.4. Značaj astronomije za stvaranje naučnog, dijalektičko-materijalističkog pogleda na svet	174



P R E D G O V O R

Ovo je prvi udžbenik astronomije u SR Srbiji pisan po novom nastavnom planu i programu za srednje usmereno obrazovanje. Namenjen je učenicima IV razreda matematičko-tehničkih smerova, gde se ovaj predmet izučava kao opštestručni sa dva časa sedmično. Nastavni program obuhvata elemente svih bitnijih tekovina astromske nauke, pa su zato oni morali, u propisanom obimu udžbenika, da budu izloženi na krajnje sažet način. Pri svemu tome pisac se trudio, koristeći svoje dugogodišnje nastavno iskustvo, i to baš iz opšte astronomije i metodike njene nastave, da materiju obradi tako da u dovoljnoj meri odgovori osnovnim zahtevima koje je pred nj postavila "Konceptija udžbenika za opštestručne predmete druge faze srednjeg usmerenog obrazovanja", zahteva idejno-vaspitnih, naučno-stručnih, psihološko-pedagoških, didaktičko-metodičkih, jezičko-stilskih i likovno-grafičkih.

Naročito se zalagao da u udžbenik udju samo oni sadržaji koji su naučno utvrđjeni i provereni, da udju samo bitne činjenice, da se ukaže na njihovu povezanost i uslovljenost, da se u njemu doslovno sprovede savremena terminologija, da se teorijski stavovi povezuju sa praktičnim primenama, da se pokloni dovoljno pažnje sadržajima važnim za opštenarodnu odbranu i društvenu samozastitu, kao i za ekonomiku i štednju energije, zatim da adekvatnom obradom podstiče učenika na primenu stečenih znanja, na sticanje novih znanja i na samostalan rad. Ovo je poslednje, izmedju ostalog, postignuto i dovoljnim brojem zadataka za rešavanje i zadatah posmatranja na kraju svakog poglavlja, koja će znatno osvežiti nastavu i učiniti je privlačnom i zanimljivom, pa time i olakšati njeno usvajanje, naročito dok se ne izradi poseban priručnik za praktičnu nastavu.

Poklonjena je pažnja i kontinuitetu nastave i njenom nadovezivanju na znanja stečena iz matematike, fizike i geografije u

prethodnim godinama, a isto tako i njenom povezivanju, naročito sa nastavom fizike u istoj godini.

Unet je dovoljan grafički materijal, no za rečnik termina i predmetni pregled nije, nažalost, bilo prostora, kao ni za literaturu za dalji rad učenika. No ovo poslednje nastavnik može sam dopuniti, naročito u okviru slobodnih aktivnosti učenika.

Što se jezika tiče, pisac se trudio da, pored sve sažetosti, bude jasan i da izbegava tudjice.

Ilustrativni materijal uzet je iz najnovije svetske literature, a delom je i originalan.

Gdegod je bilo potrebno, ukazano je na zablude i praznoverice vezane za neke prirodne pojave, na štetnost astrologije, koja i u nas uzima maha, a iznad svega i kroz čitavu materiju uveden je dijalektičko-materijalistički pristup prirodnim pojavama i učeniku pružena mogućnost za samostalno izvodjenje zaključaka i za stvaranje naučnog pogleda na svet.

Kroz čitavu materiju pisac se trudio da istakne tri osnovna značaja astronomije - saznajni, ideološki i praktični. Koliko je u tome uspeo reći će nastavnici koji budu izvodili nastavu po ovom udžbeniku, kao i sami učenici koji ga budu koristili, a pisac od njih i s pravom i sa zahvalnošću očekuje i korisne primedbe, sugestije i predloge, kao i kritičke njihove stavove.

U izvodjenju nastave po ovom udžbeniku može biti od velike pomoći i učeniku i nastavniku "Astronomski atlas" u izdanju Zavoda za udžbenike i nastavna sredstva u Beogradu.

Veoma sam obavezan recenzentima, koji su mi učinili niz korisnih primedaba, kao i "Naučnoj knjizi" na uloženom trudu oko opremanja i izdavanja knjige.

U Beogradu,
decembra 1979. g.

Pisac

GLAVA I

1.1. Predmet izučavanja astronomije i opšta znanja o vasioni

Astronomija je najstarija prirodna nauka. Ona izučava položaje, prividna i prava kretanja, daljine, dimenzije, mase, fizičku prirodu, hemijski sastav, postanak i razvoj nebeskih tela, Vasiona kao celine, kao i mnoge pojave vezane za ova tela.

Prvo nebesko telo s kojim je čovek došao u dodir bila je sama Zemlja. Ona je tamno nebesko telo, planeta, koja zajedno sa još osam velikih planeta, s više hiljada malih planeta (planetoida ili asteroida), sa mnoštvom kometa i meteora obilazi oko Sunca kao jedne prosečne zvezde, obrazujući tako prvu naseobinu nebeskih tela - Sunčev sistem. Njemu pripada još i Zemljin prirodni pratilac - Mesec i više hiljada dosad izbačenih veštačkih Zemljinih satelita, kao i više satelita drugih velikih planeta i, najzad, retka kosmička prašina i veoma razredjen gas kojima je ispunjen ceo Sunčev sistem.

Sunce, dalje, sa većim brojem susednih zvezda sačinjava jedno mesno zvezdano jato. Veći broj ovakvih jata obrazuje zvezdani oblak iz kakvog su izgrađene spiralne grane našeg Zvezdanog sistema (Galaksije), koji sa Zemlje vidimo projektovan na nebo kao beličastu traku - Mlečni put.

Dalje, ni naš Zvezdani sistem sa oko 140 milijardi zvezda Sunčeve mase, od kojih mnoge, kao i Sunce, verovatno imaju svoje porodice planeta i njihovih pratilaca, nije usamljen, niti je u nekom izuzetnom položaju prema mnoštvu drugih sličnih zvezdanih sistema, koji predstavljaju naše mesno jato galaksija. Najvećim današnjim instrumentima sagledano je mnogo miliona galaksija, koje mi jednim zajedničkim imenom zovemo Metagalaksija. No sa gradjenjem sve moćnijih instrumenata u sve većoj meri otkrivamo nove galaksije, što nam kao i mnoštvo drugih činjenica, nameće zaključak

da je njihov broj neograničen, i da je prostor koji one sobom predstavljaju beskonačan. Njega nazivamo Vasiona.

Pobrojana i druga nebeska tela uz veoma razredjen gas i kosmičku prašinu, kao i raznovrsna zračenja i elektromagnetna polja, koja ispunjavaju čitavu Vasionu, biće predmet našeg daljeg, podrobnijeg izučavanja.

Do svojih rezultata astronomija dolazi dvema osnovnim metodama: posmatranjem (merenjem) i njihovom matematičkom obradom i tumačenjem. Posmatranja se danas vrše optičkim, elektronskim i drugim instrumentima sa Zemljine površine i izvan nje. Zato je prvi uslov za uspešno izučavanje astronomije dobro poznavanje matematike i fizike. One nam služe i obrnuto, za stvaranje teorijskih modela za pojedine pojave, koji se posle popravljaju na osnovu posmatranja, dok se postupno pojava ne rastumači i ne pridje objektivnoj istini.

1.2. Značaj astronomije i njene veze s drugim naukama

Astronomija ima višestruk značaj. Kao fundamentalna nauka obogatila je riznicu ljudskih znanja i pomogla podizanju čovekove civilizacije i kulture. Ona, osim toga, ima i velik ideološki i vaspitni značaj u suzbijanju praznoverica i misticizma i obrazovanju naučnog - dijalektičko-materijalističkog pogleda na svet, čime je neposredno vezana za filosofiju. Najzad, ponikla iz praktičnih potreba ljudskog društva, ona sa svojim sve novim i novim praktičnim primenama postaje neophodna savremenom čoveku. Ona danas služi zajedno sa drugim, tehničkim službama, određivanju, održavanju i prenošenju tačnog vremena, određivanju geografskih koordinata i premeru Zemlje u naučne, privredne i odbrambene svrhe, ona služi sastavljanju kalendara i hronološkom računanju, prekomorskoj i vazdušnoj plovidbi i kosmoplovstvu, pruža metode da se iskoristi energija okeanske plime, kao i Sunčeva energija, pruža usluge građevinarstvu, za orijentaciju građevina, sudstvu za ocenu vidljivosti predmeta ili ljudi u sumrak i drugim društvenim delatnostima. Ona pomaže geofizici u ispitivanju stanja i sastava Zemljine kore i visokih slojeva Zemljine atmosfere, a fizici u ispitivanju procesa u atomskim jezgrima itd. Astronomija je, najzad, kroz čitavu istoriju davala svojim složenim ali korisnim i zanimljivim proble-

mima podstrek za razvoj i drugih nauka.

1.3. Kratak pregled istorijskog razvoja astronomije ^{1)*}

Da je astronomija sa matematikom najstarija nauka sve- doče astronomski zapisi u Kini, Vavilonu i Egiptu iz 3000 g. pre n.e. U VI veku pre n.e. Pitagora već uči da je Zemlja lopta, Ta- les nalazi metodu za predviđanje Sunčevih pomračenja. Vek kasni- je, Meton utvrđuje 19-godišnji ciklus posle koga Mesečeve mene padaju u iste datume. U IV v. pre n.e. Aristotel daje dokaze o lo- ptastom obliku Zemlje, Meseca i dr. nebeskih tela, ali čvrsto sto- ji na postavkama geocentrizma. U III v. pre n.e. Aristarh određju- je veličine i daljine Meseca i Sunca i postavlja prvi heliocentri- čni sistem, ali biva progan, a njegov sistem bačen u zaborav, jer i država i vera zastupaju geocentrizam. Malo kasnije Eratosten od- redjuje veličinu Zemljina obima, a u II v. pre n.e. Hiparh otkriva precesiju kao sporo konusno kretanje Zemljine ose, daje prve tab- lice kretanja Sunca i Meseca i katalog 850 sjajnih zvezda.

U II v.n.e. Ptolemej objavljuje "Veliki zbornik" svih astronomskih znanja (poznat po arapskom prevodu kao "Almagest") u kome se vraća na geocentrični sistem. Daje i katalog 1025 sjajnih zvezda i sve zvezde (vidljive golim okom) deli po stepenu sjaja u šest prividnih veličina.

U srednjem veku verski mrak caruje Evropom. Samo mladi arapski narod nastavlja slavne tradicije starogrčke škole i preno- si ih u Zapadnu Evropu.

1543. g. objavljeno je Kopernikovo delo "O kruženjima nebeskih tela" kojim na sjajan način vaspostavlja heliocentrični sistem sveta. Ono izaziva preporod astronomske nauke i daje podsti- caj za razvoj i drugih nauka uključujući tu i filosofiju. U istom veku uvodi se u Evropi novi kalendar. Krajem veka konstruišu se prvi teleskopi sa sočivima. 1609. i 1610. g. Galilej vrši prva po- smatranja teleskopom. Otkriva planine na Mesecu, Venerine mene, četiri Jupiterova satelita i da se Mlečni put sastoji od zvezda. Daje očigledne dokaze za Kopernikov sistem, zbog čega biva mučen i progan od Inkvizicije. U istoj epohi Inkvizicija spaljuje živog filozofa Djordana Bruna zbog učenja o mnoštvu nastanjenih svetova

^{1)*} *Ovaj paragraf nije obavezan po programu*

u Vasioni. 1609. i 1619. g. Kepler daje svoje znamenite zakone planetskog kretanja. U istom veku Njutn otkriva spektar, konstru- iše teleskop sa izdubljenim ogledalom i u svom životnom delu "Principi prirodne filosofije" (1687. g.) daje zakon gravitacije i njegove posledice i osniva višu matematiku. Kasini i Riše odre- djuju prvu Sunčevu paralaksu (daljinu), a Remer brzinu svetlosti.

Početak XVIII v. Halej računa prve putanje kometa i otkriva sopstveno kretanje zvezda, a nešto kasnije Bredli otkriva važne pojave - aberaciju i nutaciju. Kant i Laplas daju prve hipo- teze o postanku Sunčevog sistema, a Heršel otkriva planetu Uran, kretanje čitavog Sunčevog sistema i osniva zvezdanu astronomiju.

Početak XIX v. Pjaci otkriva prvu malu planetu, a Fra- unhofer tamne linije u Sunčevom spektru. Polovinom XIX v. Struve, Besel i Henderson određuju prve zvezdane paralakse (daljine), Švabe utvrđuje periodičnost Sunčevih pega, Ros otkriva spiralnu gradju nekih "maglina", Leverije i Adams, otkrivaju računski pla- netu Neptun. U istoj epohi pronadjene su spektroskopija i foto- grafija i odmah primenjene u astronomiji.

U drugoj polovini XIX v. Seki daje prvu klasifikaciju zvezdanih spektara, Žansen i Lokajer konstruišu spektograf, a Lo- kajer otkriva nov element - helijum, i to prvo na Suncu. Opolcer objavljuje svoj "Kanon pomračenja" koji sadrži sva pomračenja od 208. g. pre n.e. do 2163. g., uvodi se "zonsko vreme", Kistner i Čendler otkrivaju periodična pomeranja Zemljinih polova, a Nikols meri temperature zvezda.

U prvoj polovini XX v. Kenon daje savremenu spektralnu klasifikaciju zvezda, a Hercšprung i Rasel otkrivaju zvezde patu- ljke i džinove i daju svoj čuveni dijagram "Špektar - sjaj". Livi- tova otkriva vezu "period - sjaj" kod cefeida i omogućava merenje i najvećih daljina. Šepli postavlja teoriju o pulsiranju prome- nljivih zvezda - cefeida, Edington započinje izučavanje zvezdanih unutrašnjosti. Peron, a kasnije Bete i Vajcseker nalaze izvor zve- zdane energije u termonuklearnim reakcijama u jezgrima zvezda.

U prvoj polovini XX v. Janski otkriva vasiono radio- zračenje, a Riber konstru- iše prvi radio-teleskop, sa još dva as- tronoma otkriva i radio-zračenje Sunca. Utvrđuje se da se sve

vangalaktičke magline sastoje iz zvezda i da su to zvezdani sistemi van Mlečnog puta. Otkrivena su jaka magnetna polja zvezda, kao i zvezdane asocijacije važne za kosmogoniju (Ambarcumjan). Završen je i postavljen Hejlov teleskom 5 m otvora na Maunt Palomaru u SAD.

U drugoj polovini XX v. otkriveno je radio-zračenje Jupitera. 1957. g. izbačen je prvi veštački Zemljin satelit i započeta najnovija, kosmička era u astronomskim istraživanjima. Van Alen i dr. otkrivaju Zemljine radijacione pojase. 1961. g. u vasijskom brodu "Vastok I" Jurij Gagarin obleteo je prvi Zemlju. 1964. g. Šmit otkriva najdalja i najzagonetnija nebeska tela - kvazare. Iste godine otkriveni su i prvi vasijski izvori rendgenskog zračenja. "Zond III" fotografiše nevidljivu stranu Meseca, a "Mariner IV" donosi detaljne snimke Marsove površine. Radarski je dobiven novi period obrtaja Merkura - 59,3 dana. Dolfus otkriva 10. Saturnov satelit. Hjuiš, Bel i dr. otkrivaju 1967. g. pulsare. 1969. g. iskrcavaju se prvi ljudi na Mesec (Armstrong i Oldrin) i uzimaju uzorke tla. 1973. g. poslat je vasijski brod kroz čitav Sunčev sistem. Na svom putu poslao je masu detaljnih snimaka Jupitera i Saturna, kao i njihovih satelita, iz neposredne blizine. 1975. g. "Venera X" spušta se na Veneru i šalje prve neposredne snimke njevine površine, a 1976. g. nekoliko veštačkih satelita ispituju površine Meseca, Venere i Marsa. Najzad, kao najnovije otkriće, valja zabeležiti postojanje veoma retkih prstena oko Jupitera i Urana. Na Kavkazu postavljen je teleskop 6 m. otvora, kao i najveći današnji nepokretni radioteleskop s prečnikom antene 600 m. Izradjen je naposletku i projekat za kosmički teleskop oko 2,5 m. otvora koji će biti postavljen uskoro na jednoj astronomskoj opservatoriji u vasijskom prostoru.

I jugoslovenski narodi su za poslednja dva veka dali dosta astronoma. Neki od njih, kao što su Rudjer Bošković (1711-1787) i Milutin Milanković (1879-1958) - da pomenemo samo najveće - ostavili su značajne doprinose. Danas se ovom naukom intenzivno bave astronomske opservatorije u Beogradu, Zagrebu, Ljubljani, Hvaru i Sarajevu.

GLAVA II

NEBESKA SFERA I NJENO PRIVIDNO DNEVNO OBRTANJE
ZEMLJINA ROTACIJA2.1. Osnovni pojmovi i definicije

Zbog ogromne udaljenosti nebeskih tela ne možemo neposrednim, prostim posmatranjem stvoriti sliku o njihovim daljinama. Zato ih u prvom izučavanju smatramo sva na jednakim daljinama, tj. da se nalaze na površini jedne zamišljene lopte koju nazivamo nebeska sfera. Duž prave koja spaja posmatračevo oko i nebesko telo (vizura) projektujemo svako nebesko telo na nebesku sferu i tako dobivamo njihove prividne položaje na njoj. Izučavajući promene ovih položaja izučavamo ustvari njihova prividna kretanja. Zbog beskrajnosti nebeske sfere njeno središte možemo izabrati, kako je za koji problem potrebno - u posmatračevom oku u Zemljinom ili u Sunčevom središtu. Poluprečnik nebeske sfere uzima se za jedinicu.

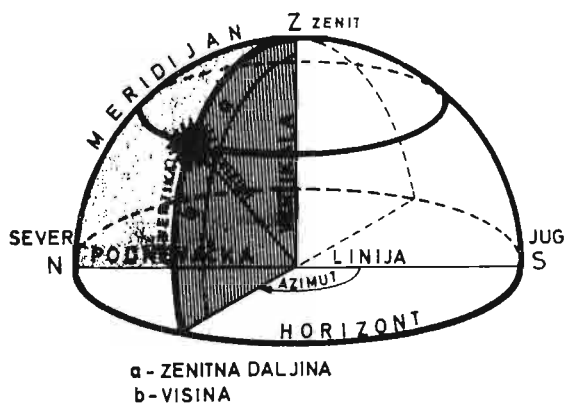
Osnovni elementi nebeske sfere, koji služe kao oslonac za orijentaciju i za određivanje položaja tačaka na Zemlji i položaja nebeskih tela, su: vertikala, horizont, zenit i vertikal (sl. 1).

Vertikala je pravac Zemljine teže, tj. rezultante Zemljine privlačne i centrifugalne sile. Materijalizuje se pravcem mirnog viska.

Pravi horizont je veliki krug nebeske sfere duž koga je seče ravan koja dodiruje Zemlju u mestu posmatranja (stanici) i stoji upravno na vertikali. Treba ga razlikovati od prividnog horizonta - linije duž koje se "dodiruju nebo i Zemlja".

Zenit je tačka prodora vertikale kroz vidljivu nebesku polusveru iznad horizonta.

Vertikal je veliki krug nebeske sfere duž koga je seče svaka ravan koja prolazi kroz vertikalu.



Sl. 1. Osnovni elementi nebeske sfere i horizontski koordinatni sistem

biti više govora. Glavne boje zvezda su plava, spektralna klasa (O i B) bela (A), žuta (F i G) i crvena (K, M i N).

Prividne veličine zvezda uveli su još stari grčki astronomi. Sve zvezde vidljive golim okom (2000 - 3000 na jednoj polusferi) delili su po stepenu sjaja na šest prividnih veličina. Zvezde 1. prividne veličine bile su najsjajnije, a 6. najslabije. Kad je otpočela zvezdana fotometrija (merenje sjaja zvezda), videlo se da je svaka sledeća prividna veličina 2,5 puta slabija od prethodne. Za najsjajnije zvezde, planete, Mesec i Sunce ova skala je produžena u negativnom smeru. Mesec je u njoj - 12,6 a Sunce - 26,8 prividne veličine. Za zvezde slabijeg sjaja usvojene su prividne veličine veće od šeste. Najvećim astronomskim teleskopom vide se danas i zvezde 20. prividne veličine, a na fotografskim pločama uz više časova izlaganja i zvezde 24. prividne veličine.

Stari narodi su zbog bolje približne orijentacije u određivanju položaja zvezda na nebu delili zvezde u grupe - sazveždja kojima su davali različita imena (junaka, životinja, predmeta, na koje ova sazveždja liče). Danas je tačan položaj zvezda dat njihovim koordinatama, no radi brže i preglednije orijentacije ova se podela i danas zadržala. Najsjajnije zvezde imaju svoja imena. Osim toga obeležavaju se grčkim slovima uz oznaku sazveždja. Zvezde slabijeg sjaja obeležavaju se latinskim slovima, još slabijeg - broje-

2.2. Orijentacija na nebu. Sazveždja

Zbog lakše orijentacije na nebu upoznajmo osnovne karakteristike zvezda, imena sjajnih zvezda, upadljiva sazveždja i najmarkantnija nebeska tela.

Tri osnovne prividne odlike svake zvezde su boja, prividna veličina i položaj.

Boja zvezde određuje se po najjačoj vrsti zračenja u njenom spektru, o čemu će kasnije

vima uz oznaku kataloga u kome se nalaze koordinate zvezde, njena prividna veličina, boja i drugi podaci o njoj. Sva sazveždja možemo uslovno podeliti u 5 grupa: cirkumpolarnu, zimsku, prolećnu, letnju i jesenju.

Cirkumpolarna grupa sazveždja. Na severnom delu nebeske sfere najupadljivije i najveće sazveždje su Velika Kola, ili Veliki Medved (Ursa Maior) (vidi zvezdanu kartu na kraju knjige). Ako produžimo oko 5 puta razmak između zvezda β i α u tom smeru, dolazimo do zvezde 2. prividne veličine, koja je u naše vreme samo oko 1° udaljena od severnog nebeskog pola; ta zvezda je Severnjača, ili Polara (α Ursae Minoris). Ona se nalazi u repu Malog Medveda (Ursa Minor), nešto manje sjajnog sazveždja, sličnog oblika s prethodnim.

S druge strane ovog sazveždja, na približno istom odstojanju kao i Veliki Medved, nalazi se treće cirkumpolarno sazveždje Kasiopeja (Cassiopeia) u obliku latinskog slova W. Ova grupa sazveždja u našim krajevima nikad ne zalazi, već se uvek nalazi iznad horizonta. Njoj pripadaju još neka manje upadljiva sazveždja.

Usled Zemljinog obilaženja oko Sunca, o čemu će se govoriti kasnije, u razna godišnja doba vide se s večeri nad južnim delom horizonta razne grupe sazveždja: zimska - prema kojoj je okrenut rep Malog Medveda, prolećna - ispod Velikog Medveda, letnja - prema kojoj je usmeren rep Velikog Medveda i jesenja - ispod Malog Medveda.

Zimska grupa sazveždja. U zimskoj grupi su najmarkantnija sazveždja: Kočijaš (Auriga), Bik (Taurus), Blizanci (Gemini). Orion (Orion), Mali Pas (Canis Minor) i Veliki Pas (Canis Maior). Najsjajnija zvezda u Kočijašu je α Aurigae ili Capella, u Biku α Tauri ili Aldebaran (u njemu su i velika rasturena ili razvejana jata : Plejade i Hijade). U Blizancima su najsjajnije dve zvezde α Geminorum - Castor i β Geminorum - Polux, obe višestruke. U Orionu, koji obiluje sjajnim zvezdama, najsjajnije su α Orionis - Betelgeuze i β Orionis - Rigel. U njegovom "maču" poznata je višestruka zvezda θ Orionis, kao i velika difuzna maglina i tamna maglina "Konjska Glava", koja je u njenoj blizini. Najsjajnija zvezda u Malom Psu je α Canis Minoris ili Procyon, a u Velikom Psu α Canis Maioris ili Sirius; ova poslednja je i najsjajnija zvezda na čitavom

nebu.

Prolećna grupa sazveždja. U prolećnoj grupi najuočljivija su tri sazveždja: Rak (Cancer), Lav (Leo) i Devojka (Virgo). U Raku se i slobodnim okom vidi veliko rastureno jato zvezda Praesepe ili Jasle. U lavu se ističu dve sjajne zvezde: α Leonis - Regulus i β Leonis - Denebola, a u Devojci sjajna zvezda α Virginis ili Spica (Klas).

Letnja grupa sazveždja. U letnjoj grupi su najmarkantnija sazveždja: Volar (Bootes), Severna Kruna (Corona Borealis), Herkul (Hercules), Lira (Lyra) Labud (Cygnus) i Orao (Aquila). Najsjajnija zvezda u Volaru je α Bootis ili Arcturus. U Severnoj Kruni α Coronae Borealis ili Gemma. Herkul nema upadljivo sjajnih zvezda, ali je poznat po svome zbivenom zvezdanom jatu od oko 40000 zvezda, koje se vide i najslabijim durbinima. Najsjajnija zvezda u Liri je α Lyrae - Vega, u Labudu α Cygni - Deneb i u Orlu α Aquilae - Altair.

Jesenja grupa sazveždja. U jesenjoj grupi su najuočljivija sazveždja: Pegaz (Pegasus), Andromeda (Andromeda), Persej (Perseus), Ribe (Pisces) i Kit (Cetus). U Pegazu je najsjajnija zvezda α Pegasi ili Markab, u Andromedi α Andromedae - Sirrah. Ovo je sazveždje čuveno i po sjajnoj spiralnoj galaksiji U Perseju su, osim najsjajnije zvezde α Persei ili Mirfak, čuvena promenljiva zvezda β Persei ili Algol, kao i dvojno jato zvezda. U slabo uočljivom sazveždju Ribe, koje se sastoji iz zvezda slabijeg sjaja, nalazi se tačka prolećne ravnodnevnice, ili φ tačka (o kojoj će se kasnije govoriti). Ona se nalazi ispod sazveždja Pegaz, kad se u pravcu zvezda Andromedae i Pegasi prenese još jednom njihov razmak.

Ako pomoću koordinata iz kataloga unesemo položaje nebeskih tela u jednu odredjenu koordinatnu mrežu, dobivamo zvezdanu kartu. Ako je ta mreža na lopti, dobivamo zvezdani globus.

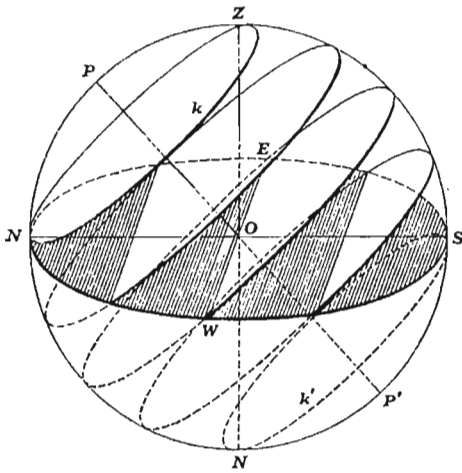
Uz pomoć pobrojanih sazveždja ili nebeskih tela lako je naći i ostala na nebeskoj sferi, zvezdanom globusu ili karti.

2.3. Prividno obrtanje nebeske sfere. Zvezdani dan. Iz neposrednog, iskustva znamo da Sunce izjutra izlazi iznad horizonta na istočnoj strani (istoku), da se u toku obdanice penje ravnomerno po nebeskoj sferi, da u podne dostiže najveću visinu nad horizontom

(kulminuje), da se zatim spušta isto tako ravnomerno i da uveče na zapadnoj strani (zapadu) zadje pod horizont.

Ako se uveče okrenemo istoku, videćemo da i zvezde tamo izlaze iznad horizonta, da vrše isto prividno kretanje po nebeskoj sferi i da zalaze na zapadu.

Ma koliko dugo posmatrali Severnjaču, nećemo zapaziti golim okom da se kreće. Ostale zvezde oko nje, na primer one iz Velikog Medveda, lako ćemo uočiti da opisuju krugove, koji su celi vidljivi iznad horizonta (sl. 2). U to ćemo se uveriti i ako izložimo 15-20 minuta fotografsku ploču okrenutu Severnjači. Medjutim,



Sl. 2. Vidljivi i nevidljivi luci prividnih kružnih putanja zvezda

njače, koje nikad ne izlaze, već su njihovi celi prividni dnevni krugovi pod horizontom. To su tzv. anticirkumpolarne zvezde.

Ovakvim i još preciznijim posmatranjima pomoću instrumenta možemo utvrditi da se sva nebeska tela kreću od istoka ka zapadu jednakom uglovnom brzinom po paralelnim kružnicama (nebeski paraleli).

Zato nam izgleda da se nebeska sfera kao celina obrće sa istoka na zapad oko zamišljene osovine koja prolazi kroz posmatračevu stanicu i jednu tačku na nebeskoj sferi blizu Severnjače.

ovo je kretanje samo prividno i posledica Zemljinog obrtanja oko jednog njenog prečnika kao osovine. Zvezde koje cele svoje krugove opisuju iznad horizonta datog mesta nazivaju se cirkumpolarne.

Zvezde čije su ugaone daljine od Severnjače veće nisu sve vreme nad horizontom. Deo prividne kružne putanje koje te zvezde opisuju nad horizontom naziva se vidljivi luk, za razliku od dela putanje pod horizontom koji se naziva nevidljivi luk. (Nacrtaj!).

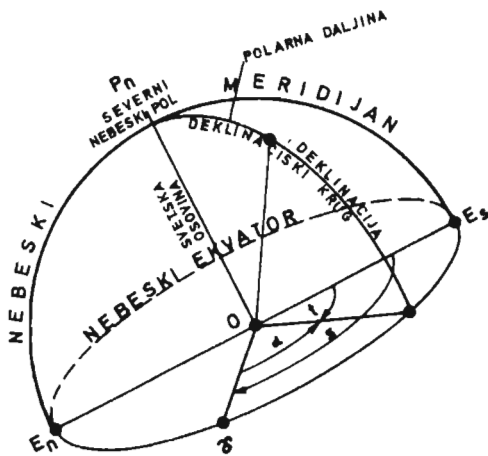
Postoje i zvezde na suprotnoj strani nebeske sfere od Sever-

Vremenski razmak u kome ona prividno izvrši jedan pun obrt naziva se zvezdani dan. Zvezdani dan je osnovna jedinica za merenje vremena u astronomiji. Ona se deli na 24 zvezdana časa, svaki čas na 60 zvezdanih minuta a svaka minuta na 60 zvezdanih sekunada. Pošto svaka tačka nebeske sfere opiše pun ugao od 360° za 24 zvezdana časa, to ona za 1^h opiše ugao od 15° . Zato se u astronomiji za merenje uglova često upotrebljava i časovna mera: $1^h = 15^{\circ}$, $1^m = 15'$; $1^s = 15''$, odn. $1^{\circ} = 4^m = 1' = 4,1'' = 0,033^s$.

Prelaz sa časovne mere ugla na geometrijsku vršimo množenjem njegovog mernog broja sa 15, a obrnut prelaz deobom sa 15.

2.4. Elementi nebeske sfere izvedeni iz njenog prividnog dnevnog obrtanja

Prava oko koje nam se čini da se za jedan zvezdani dan obrne nebeska sfera naziva se nebeska polarna osovina ili svetska osovina (sl.3.).



Sl. 3. *Elementi nebeske sfere izvedeni iz prividnog dnevnog obrtanja. Mesni i nebeski ekvatorski sistem*

Tačke u kojima ona preseca nebesku sferu zovu se nebeski polovi: severni P_n i južni P_s . Severni pol je onaj iz koga se vidi da se sva nebeska tela prividno kreću u toku zvezdanog dana u smeru kazaljke na časovniku. On se naziva retrogradni smer.

Nebeski ekvator je veliki krug nebeske sfere čija je ravan upravna na svetskoj osovini. On deli nebesku sferu na dve polusfere: severnu i južnu, koje se nazivaju po istoimenim polovima koji se na njima nalaze.

Deklinacijski krug je svaki veliki krug nebeske sfere čija ravan prolazi kroz svetsku osovinu.

Nebeski meridijan posmatračeve stanice je veliki krug nebeske sfere čija ravan prolazi kroz vertikalnu i svetsku osovinu. On, prema tome, prolazi kroz nebeske polove i zenit posmatračeve stanice. Nebeski meridijan seče pravi horizont u severnoj N i ju-

žnoj S tački horizonta; severna tačka je ispod severnog nebeskog pola, a južna dijametralno suprotno.

Prava NS koja spaja severnu i južnu tačku horizonta i prolazi kroz posmatračevu stanicu naziva se podnevačka linija. Duž nje se seku ravni horizonta i meridijana.

Prava upravna na podnevačkoj liniji koja prolazi kroz posmatračevu stanicu u središtu nebeske sfere probija ovu u istočnoj E i zapadnoj W tački horizonta. Istočna se nalazi na delu horizonta gde nebeska tela izlaze, a zapadna na onom gde zalaze.

2.5. Zemljina rotacija. Dokazi. U 2.3. upoznali smo pojavu prividnog dnevnog obrtanja nebeske sfere i rekli da je ona samo posledica jednog drugog pravog kretanja - Zemljine rotacije.

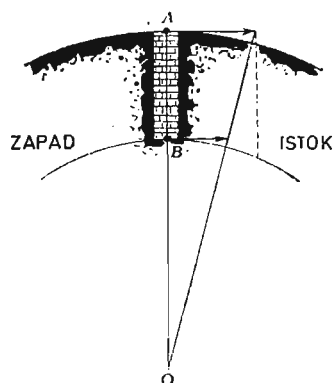
Još su u starom veku naučnici, a naročito Aristarh, tvrdili da Zemlja ima obrtno kretanje. Nedovoljna ubedljivost njihovih dokaza zbog nepoznavanja fizičkih zakona omogućila je crkvi da ovu istinu vekovima osporava pozivajući se na Sveto pismo. Ovome je mnogo doprineo i izgled same pojave, koji je potpuno isti bilo da se nebeska sfera obrće oko Zemlje u retrogradnom smeru, bilo da se Zemlja obrće oko svoje polarne osovine u suprotnom smeru, koji se zove direktni smer.

U doba Renesanse Kopernik, Galilej i Njutn dali su niz posrednih dokaza iz kojih se vidi da je Zemljina rotacija pravo kretanje, a obrtanje nebeske sfere samo prividno i posledica Zemljina obrtanja.

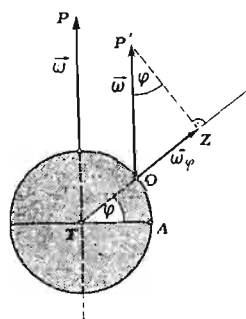
Danas ima veliki broj i neposrednih mehaničkih dokaza Zemljine rotacije. Na primer skretanja tokova reka koje teku duž Zemljinih meridijana ili vetrova koji duvaju ovim pravcem, zatim skretanje horizontalnog hica izbačenog u pravcu meridijana. Najegzaktniji dokazi su: skretanje tela koje slobodno pada, prividno skretanje ravni klaćenja klatna i Zemljin oblik.

Skretanje ka istoku tela koje slobodno pada (Njutn-1679.). Aristotel, pa i njegove pristalice, sve do novog veka tvrdili su, zbog nepoznavanja zakona inercije, da telo pri slobodnom padu mora skretati ka zapadu, jer bi Zemlja, u slučaju da rotira na istok, izmicala ka istoku ispod tela koje slobodno pada.

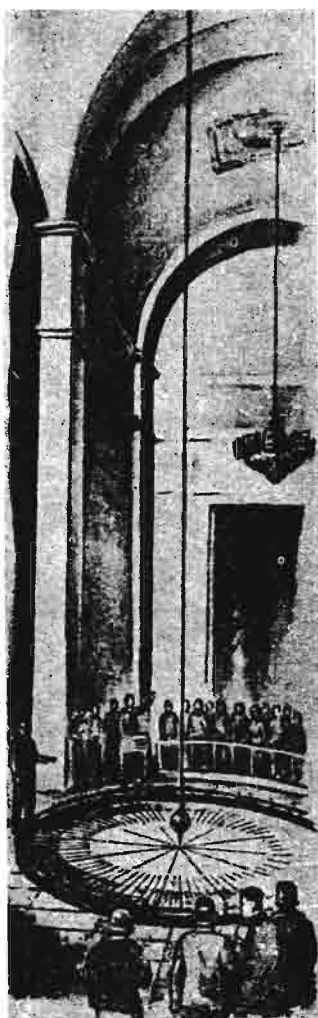
Eksperimenti su pokazali obratno - da telo koje slobodno pada skreće ka istoku. Pojavu je predvideo još Njutn, tumačeći pravilno da ovo skretanje dolazi otud što telo, padajući prema Zemljinom središtu, prelazi sa tačaka veće ka tačkama manje periferijske brzine, pa je efekat isti kao da Zemlja zaostaje za telom, a ne kao da prednjači ispred njega. Pojavu očigledno objašnjava slika 4. Ako telo pada sa visine od 50 m, na geografskoj širini 45° skreće samo 6 mm. Zbog malog iznosa skretanja i znatnih poremećaja bio je potreban dug niz godina dok se tehnika merenja nije toliko usavršila da se mogu tačno izmeriti ovako mala skretanja. Izmerena skretanja tada su se poklopila sa onim koje je Njutn teorijski bio predvideo.



Sl. 4. Skretanje ka istoku tela koje slobodno pada



Sl. 6. Skretanje ravni klaćenja klatna na geografskoj širini



Sl. 5 Skretanje ravni klaćenja klatna

Skretanje ravni klaćenja klatna (Fuko - 1851.).

Iz fizike je poznato da, klatno u toku klaćenja zadržava nepromenjen položaj ravni klaćenja. Ako uzmemo dovoljno dugo i teško klatno koje se može, jednom zaklaćeno, dugo klatiti, pa postavimo šiljak na njegov slobodni kraj i pospemo tanak sloj peska na podlogu, možemo zapaziti ubrzo prividnu promenu položaja ove ravni kao posledicu obrtanja podloge (Zemlje) ispod klatna (sl.5).

Skretanje ravni klaćenja klatna na Zemljinom polu iznosi 360° za jedan zvezdani dan ili 15° na čas, a na tački sa geografskom širinom φ , što očigledno sledi sa sl. 6.:

$$\alpha = \omega \cdot \sin \varphi = 15^\circ \cdot \sin \varphi \text{ na čas,}$$

gde je ω ugaona brzina Zemljinog obrtanja.

Fuko je prvi izveo ovaj eksperiment u pariskom Panteonu, a zatim je na mnogo mesta ponovljen i njime Zemljina rotacija dokazana na očigledan i egzaktn način.

Zemljin oblik. Eksperimenti su pokazali da elastična lopta koja rotira oko jednog prečnika na centrifugalnoj mašini dobija sve spljošteniji oblik što je brzina obrtanja veća. Njutn je još po otkriću zakona gravitacije teorijski predvideo da Zemlja zbog svoje rotacije mora biti na polovima spljoštena, a na ekvatoru ispupčena. Kasnija geodetska merenja potvrdila su ovo, pa je tako i Zemljin oblik danas jedan od mnogih dokaza za Zemljino obrtno kretanje.

2.3. Koordinatni sistemi. Horizontski sistem. Za odredjivanje položaja nebeskih tela služe četiri sferna koordinatna sistema: horizontski, mesni ekvatorski, nebeski ekvatorski i ekliptički, a ponekad još i galaktički o kome će biti govora kasnije.

U horizontskom koordinatnom sistemu koordinatni početak je posmatračevo oko, osnovna ravan - ravan horizonta, osnovni pravac u njoj podnevačka linija NS (sl. 1) usmerena ka južnoj tački S, a smer merenja uglova u njoj retrogradni.

U njemu su koordinate nebeskog tela azimut A i visina h. Azimut A je ugao u horizontskoj ravni koji se meri od južne tačke S horizonta do preseka vertikalne koji prolazi kroz nebesko telo sa horizontom, u retrogradnom smeru. Azimut za razna nebeska tela može imati i razne vrednosti - od 0° do 360° .

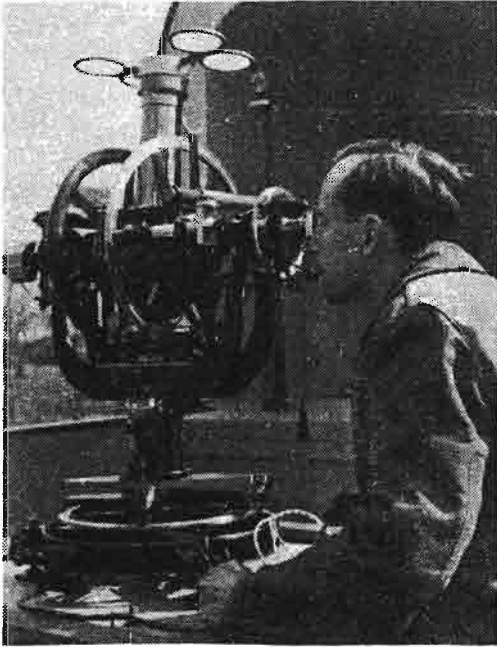
Visina h je ugao u vertikalnoj ravni koji se meri od horizonta do vizure $O\bar{G}$ ka nebeskom telu. Može se kretati, za nebeska tela iznad horizonta, od 0° do $+90^\circ$ i za ona ispod horizonta od 0° do -90° .

Mesto visine se češće upotrebljava zenitna daljina z. To je ugao u vertikalnoj ravni između pravca vertikale i vizure, a meri se od zenita. Može imati za razna nebeska tela sve vrednosti

od 0° do $+180^{\circ}$. Visina h i zenitna daljina z vezane su, prema tome, izrazom $h + z = 90^{\circ}$.

Horizontske koordinate za jedno nebesko telo su različite u istom trenutku ako se mere na dva razna mesta posmatranja, jer je tada drugi koordinatni početak. One se menjaju u toku vremena, iako su merene sa istog mesta, zbog prividnog dnevnog obrtanja nebeskog tela. Zato se kaže da je ovaj koordinatni sistem mesni.

Koordinate se u njemu obično mere malim astronomskim durbinom koji je snabdeven horizontalnim krugom za merenje azimuta i vertikalnim krugom za merenje visine ili zenitne daljine. To je teodolit. Veći tip teodolita zove se univerzalni instrument. (sl. 7).



Sl. 7. Univerzalni instrument

2.7. Mesni ekvatorski koordinatni sistem. Zvezdano vreme

I u ovom sistemu je koordinatni početak u posmatračevom oku, osnovna ravan je ravan nebeskog ekvatora, osnovni pravac u njoj - pravac ka južnoj tački E_s na nebeskom ekvatoru, smer merenja uglova u njoj retrogradni.

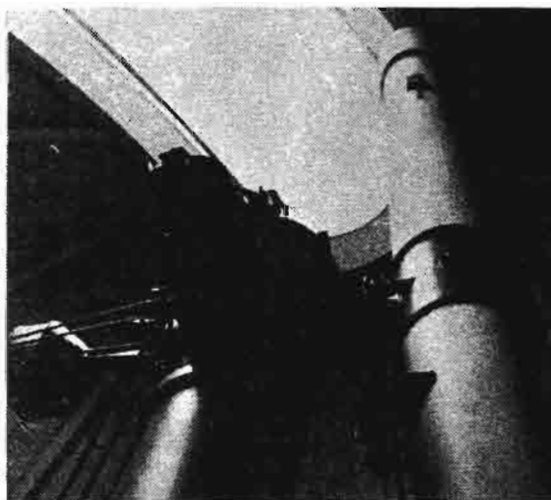
U ovom sistemu (sl. 3.) koordinate nebeskog tela su časovni ugao t i deklinacija δ . Časovni ugao t u ravni nebeskog ekvatora meri se u retrogradnom smeru od južne tačke E_s na ekvatoru do preseka deklinacijskog kruga nebeskog tela sa ekvatorom. Časovni ugao za razna nebeska tela može uzimati razne vrednosti - od 0° do 360° . Češće se izražava u časovnoj meri, od 0^h - 24^h .

Deklinacija je ugao u ravni deklinacijskog kruga nebeskog tela koji se meri od nebeskog ekvatora do vizure ka nebeskom telu. Za nebeska tela severno od ekvatora uzima vrednosti od 0° do $+90^{\circ}$ i za ona ispod ekvatora od 0° do -90° .

Mesto deklinacije ponekad se upotrebljava polarna daljina p . To je ugao u ravni deklinacijskog kruga između nebeske po-

larne osovine i vizure. Za razna nebeska tela, od severnog do južnog nebeskog pola, može imati razne vrednosti - od 0° do $+180^{\circ}$. Deklinacija i polarna daljina p vezane su, prema tome, izrazom $\delta + p = 90^{\circ}$.

Mesne ekvatorske koordinate mere se astronomskim instrumentom koji se naziva ekvatorijal ili paralaktički teleskop. (sl. 8.).



Sl. 8. Veliki ekvatorijal Astronomske opservatorije u Beogradu. Otvor objektiva je 65 cm

To je veći astronomski durbin sa dva kruga za merenje uglova od kojih jedan leži u ravni ekvatora i njime se mere časovni uglovi, a drugi upravno na ravni ekvatora i njime se mere deklinacije. Ekvatorijalom se mogu pratiti nebeska tela u njihovom prividnom dnevnom kretanju.

Pošto se prividno dnevno kretanje nebeskih tela vrši po krugovima paralelnim ekvatoru, to je deklinacija nepromenljiva, kako sa promenom mesta

posmatranja, tako i u toku prividnog dnevnog kretanja uočenog nebeskog tela.

Naprotiv, časovni ugao t menja se s mestom posmatranja (jer svako mesto ima svoj nebeski meridijan), a i s prividnim dnevnim kretanjem tela po njegovom paralelu. Zato je i ovaj koordinatni sistem mesni. Kako je prividno kretanje jednoliko, to se časovni ugao svakog nebeskog tela menja ravnomerno u toku vremena, pa se merenjem časovnog ugla može meriti vreme.

Za zvezdano vreme u astronomiji se smatra časovni ugao φ° tačke. Ovo vreme pokazuju zvezdani časovnici kojima se služe astronomi na opservatorijama, geodeti u premeru Zemlje i pomorci za prekomorsku plovidbu. Prema stepenu tačnosti, to mogu biti hronometri, čije odstupanje od tačnog vremena ili popravka za jedan dan može dostići oko $0^s,5$, precizni časovnici s klatnom, koji rade na stalnoj temperaturi i pod stalnim vazдушnim pritiskom, či-

ja tačnost može dostići $0^S,01$ na dan, zatim kvarcni časovnici čija tačnost dostiže $0^S,0001$ na dan i, najzad najnoviji, atomske časovnici čija tačnost premaša i $0^S,00001$ na dan.

Jedinice za zvezdano vreme definisali smo u 2.3.

2.8. Nebeski ekvatorski koordinatni sistem

Da bi se postiglo da se i druga koordinata nebeskog tela ne menja s mestom posmatranja i vremenom, i da bi se položaji nebeskih tela mogli odrediti dvama stalnim brojevima, uveden je nebeski ekvatorijski sistem, jednom malom ali značajnom izmenom u mesnom ekvatorskom sistemu.

Naime, mesto osnovnog pravca OE_S u ravni nebeskog ekvatora, koji je vezan za mesto posmatranja, usvojen je pravac ka φ tački, $O\varphi$, koji ne zavisi od mesta posmatranja, jer je φ tačka vezana za nebesku sferu, a za smer merenja uglova u ekvatorijskoj ravni ovaj put je usvojen direktni smer.

Tako su u nebeskom ekvatorskom sistemu (sl. 3.) koordinate nebeskog tela rektascenzija i deklinacija. Dok je deklinacija ista kao i u mesnom ekvatorskom sistemu, rektascenzija nebeskog tela meri se u ekvatorskoj ravni u direktnom smeru od pravca ka φ tački do ravni deklinacijskog kruga zvezde. Za razna nebeska tela može imati sve vrednosti od 0^h do 24^h . Ovaj ugao je stalan zato što deklinacijski krug φ tačke i deklinacijski krug zvezde u toku prividnog dnevnog kretanja ne menjaju međusobni položaj, jer se nebeska sfera prividno obrće kao celina, pa i φ tačka učestvuje u prividnom dnevnom kretanju.

Koordinate α i δ zvezda, izvedene iz merenja, svrstane su u tzv. zvezdane kataloge i ucrtane u zvezdane karte.

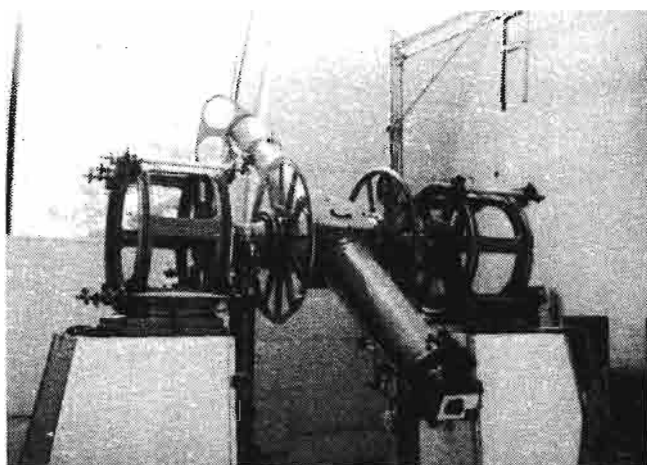
Ša sl. 3. vidi se veza između koordinata dva ekvatorska sistema:

$$\delta \approx \delta; \quad s = d + t.$$

Kako je u meridijanu $t = 0$, to je tada $\alpha = s$.

(Iskaži rečima!).

Rektascenzija i deklinacija najčešće se određuju meridijanskim krugom. (sl. 9.). To je veći astronomski durbin, pričvršćen po sredini upravno na osovinu koja se krajevima oslanja na dva stuba i libelom dovede u horizontalan položaj. U žižnoj ravni objektiva,



Sl. 9. Meridijanski krug

njen lik preseče vertikalni konac, zabeleži se vreme koje pokazuje zvezdani časovnik. Kako je u meridijanu $\alpha = s$, to je ovim određena rektascenzija zvezde.

Za horizontalnu obrtnu osovinu meridijanskog kruga pričvršćen je prečnicima veći krug sa uglovnom podelom po kome je instrument i dobio ime. Iz prostih posmatranja može se odrediti čitanje kruga koje odgovara nebeskom ekvatoru. Pretpostavimo da smo krug doterali tako da se njegova nula nalazi u ekvatoru. U tom slučaju će, dok prvi posmatrač vizira zvezdu, drugi posmatrač pomoću mikroskopa pročitati na krugu njenu deklinaciju.

2.9. Prividno dnevno obrtanje nebeske sfere posmatrano sa raznih tačaka na Zemlji

Posmatrajmo najpre prividno dnevno kretanje nebeske sfere iz naših krajeva. Neka je tu visina pola nad horizontom φ . (Nacrtaj sliku!). Tada iz geometrijskih razloga očigledno izlazi:

1. Zvezde s deklinacijom $\delta \geq 90^\circ - \varphi$ svoje dnevne paralele opisivaće cele iznad horizonta.

2. Zvezde s deklinacijom $\delta < 90^\circ - \varphi$ imaće vidljive i nevidljive lukove, i to vidljive veće od nevidljivih.

3. Zvezde čija je deklinacija $\delta = 0$ imaće vidljiv luk jednak nevidljivom.

4. Zvezde čija je deklinacija $\delta < 0$ imaće vidljive lukove manje od nevidljivih.

gde se obrazuju likovi nebeskih tela, razapet je najčešće krst paukovih konaca. Durbin se postavi tako da mu vertikalni konac leži u meridijanu i dotera tako da tačkasti lik uočene zvezde zbog svog prividnog dnevnog kretanja klizi po horizontalnom koncu. Kad

5. Zvezde čija je deklinacija $\delta < \varphi$ cele svoje dnevne paralele opisivaće ispod horizonta.

Za posmatrača na severnom Zemljinom polu severni nebeski pol je u zenitu, a horizont se poklapa sa nebeskim ekvatorom. (Nacrtaj sliku!). Tu sve zvezde s $\delta > 0$ opisuju cele dnevne paralele iznad horizonta, a sve čija je $\delta < 0$ cele paralele ispod horizonta. Za posmatrača na južnom Zemljinom polu sve je obratno.

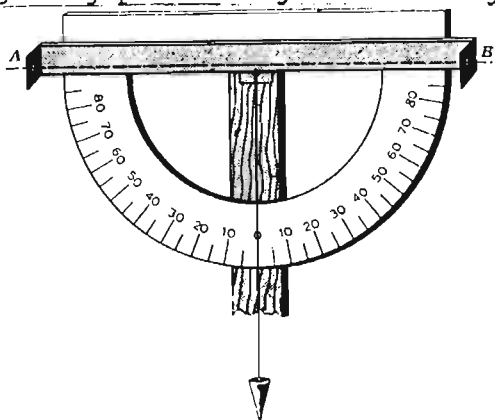
Za posmatrača na Zemljinom ekvatoru nebeski ekvator prolazi kroz zenit, a svetska osovina leži u ravni horizonta i predstavlja podnevačku liniju (Nacrtaj sliku!). Kako sve zvezde opisuju oko nje svoje prividne kružne putanje, to će očigledno sve zvezde tamo biti vidljive i opisivati polovine svojih paralela nad horizontom, a polovine pod horizontom.

Z a d a c i

1. Dokaži da se horizont, nebeski ekvator i prvi vertikal (onaj čija je ravan upravna na meridijanskoj) seku u istim dve-
ma tačkama horizonta.

2. Ugao pod kojim se vidi Mesečev prečnik (tzv. prividni prečnik njegov) iznosi približno $1^\circ/2$. Ako znamo da je prečnik sfernog balona 13 m, izračunaj na kom se udaljenju nalazi balon kad mu je ugaoni prečnik 2 puta manji od Mesečevog.

3. Izračunaj zenitnu daljinu Sunca kad je dužina senke jednog predmeta jednaka samoj visini predmeta.



Sl. 4. Visinomer (eklimetar)

4. Ako škola nema fabrički eklimetar, instrument za merenje visine (sl. 10), napravi ga od razrednog uglomera prema slici.
5. Izračunaj linijsko rastojanje između dve zvezde koje se nalaze na daljinama r_1 i r_2 , a na nebeskoj sferi se vide na uslovnom rastojanju Θ .

6. Nacrtaj nebesku sferu sa njenim elementima projiciranu na ravan horizonta, ekvatora i meridijana.

7. Izračunaj za koje će vreme podloga ispod Fukoovog klatna opisati pun ugao na geografskim širinama 30° , 45° , 60° .

P o s m a t r a n j a

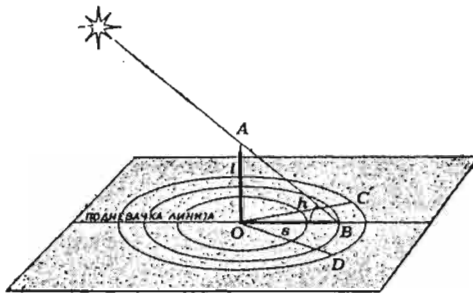
1. Sa neke uzvišice ili krovne terase pokaži rukom osnovne elemente nebeske sfere i one koji potiču od njenog prividnog dnevnog obrtanja.

2. Pronadji na nebeskoj sferi sazveždja iz cirkumpolarne grupe.

3. U svako godišnje doba bar po jednom izidji na kakvu uzvišicu ili krovnu terasu i pronadji na nebeskoj sferi najmarkantnija sazveždja iz grupe koja odgovara tom godišnjem dobu (pomozite se Astronomskim atlasom). Zapazi promenu u položajima cirkumpolarnih sazveždja od jednog godišnjeg doba do drugog.

4. Na nekoj ravnoj uzvišici ili krovnoj terasi postavi gnomon (prav šiljat prut pobiven u ravnu podlogu) i ucrtaj pravac podnevačke linije služeći se njime, prema sl. 11.

5. Izmeri eklimetrom visinu Severnjače, zatim visinu još nekoliko sjajnih zvezda.

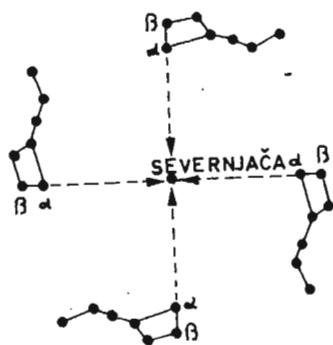


Sl. 11. Gnomon i određivanje pravca podnevačke linije

GLAVA III

PRIVIDNO GODIŠNJE KRETANJE SUNCA
ZEMLJINA REVOLUCIJA3.1. Prividno godišnje kretanje Sunca i njegove posledice

Pored toga što sa ostalim nebeskim telima učestvuje u prividnom dnevnom obrtanju nebeske sfere, Sunce prividno menja i svoj položaj medju zvezdama. To se da lako primetiti po pomeranju njegovih tačaka izlaza i zalaza u letnjoj polovini godine ka severu a u zimskoj ka jugu. Po tome što njegova podnevna visina u letnjoj polovini godine raste a u zimskoj opada, po tome što ono izlazi ili zalazi svaki dan sa drugom zvezdom i što se u toku godine izgled zvezdanog neba menja (sl. 12.).



Sl. 12 Položaj sazveždja Veliki Medved u razna godišnja doba

Ako merimo iz dana u dan (meridijanskim krugom ili univerzalnim instrumentom) Sunčeve zenitne daljine u trenutku njegova prolaza kroz meridijan i beležimo ove trenutke, možemo lako izračunati njegove rektacenzice i deklinacije u toku godine. Evo nekoliko parova tih koordinata:

21. marta	0^h	0°
22. juna	6	+ 23,5
23. septembra	12	0
22. decembra	18	- 23,5
21. marta	24	0

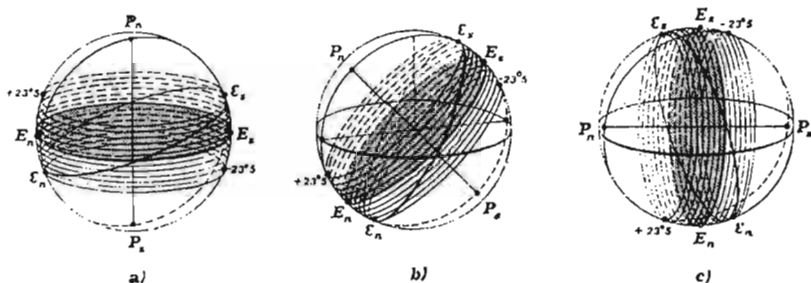
Ako nanesimo njegove svakodnevne položaje na zvezdani globus ili kartu, videćemo da je projekcija Sunčeve putanje na nebeskoj sferi veliki krug, čija ravan prolazi kroz Sunčevo i Zemljino središte, a sa nebeskim ekvatorom zaklapa ugao od oko $23^{\circ},5$ i da se Sunce po njemu prividno kreće u direktnom smeru, sa zapada na istok (za posmatrača sa severne Zemljine polulopte). Ovaj veliki krug naziva se

ekliptika.

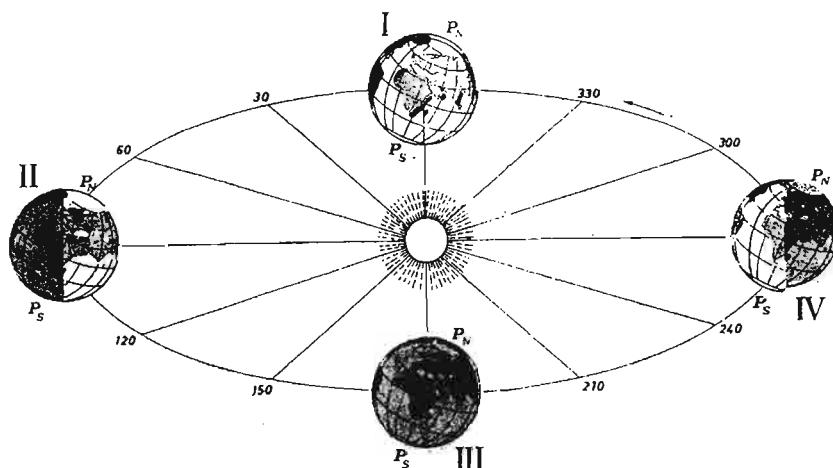
Ona prolazi po nebeskoj sferi kroz tzv. Zodijak ili pojas sastavljen od sazveždja: Ovan, Bik, Blizanci, Rak, Lav, Devojka, Vaga, Skorpija, Strelac, Jarac, Vodolija i Ribe.

Kombinovano s njegovim prividnim dnevnim kretanjem, prividno godišnje kretanje Sunca, posmatrano sa severnog Zemljinog pola, iz srednjih geografskih širina i sa ekvatora, prikazano je na sl. 13. Kako dužina luka Sunčevog prividnog dnevnog puta iznad horizonta odgovara dužini obdanice, a dužina njegovog luka pod horizontom dužini noći, ove slike jasno pokazuju i promenu u dužini obdanice i noći, kako na jednom mestu u toku godine, tako i na raznim mestima u jednom trenutku (prva posledica Sunčevog prividnog godišnjeg kretanja). (Opiši podrobnije!).

21. marta i 23. septembra Sunce se prividno nalazi u tačkama preseka ekliptike sa ekvatorom, dnevni luk mu je jednak noćnom, po čemu su ove tačke dobile naziv ravnodnevičke, a ovi dani ravnodnevice. 22. juna Sunce dostiže najveću visinu nad ekvatorom i počinje da se spušta prema njemu, zato se ova tačka naziva severna povratna tačka ili tačka letnjeg solsticija. 22. decembra Sunce dostiže najmanju visinu nad horizontom i počinje da se vraća ka ekvatoru. Ova se tačka zato zove južna povratna tačka ili tačka zimskog solsticija. Nebeski paraleli koji prolaze kroz povratne tačke nazivaju se nebeski povratnici. Njima na Zemlji na uglovnom udaljenju $\pm 23^{\circ}5'$ od ekvatora, odgovaraju Zemljini povratnici. Oni obuhvataju tzv. žarki pojas (sl. 14.). Zemljini paraleli udaljeni po $23^{\circ}5'$ od polova zovu se polarni krugovi. Između njih i povratnika pružaju se umereni pojasevi. Kalote ograničene polarnim krugovima pred-



Sl. 13. Prividno dnevno kretanje nebeske sfere posmatrano: a) sa severnog Zemljinog pola; b) iz srednjih geografskih širina; v) sa Zemljinog ekvatora



Sl. 14. Nagib Sunčevih zrakova prema tlu u raznim toplotnim pojasevima na Zemlji i u razna godišnja doba

stavljaju Zemljine ledene pojaseve. Svi ovi pojasi nose nazive prema svojoj klimi, koja prvenstveno zavisi od nagiba Sunčevih zrakova prema Zemljinoj površini u toku godine. Ovo je očigledno prikazano na sl. 14. (druga posledica Sunčevog prividnog godišnjeg kretanja). (Opiši podrobnije pojavu uz pomoć slike!).

Vremenski razmak između dva uzastopna Sunčeva prividna prolaza kroz tačku prolećne ravnodnevnice (koja se još zove i gama γ tačka) naziva se tropska godina. Njena dužina utvrđena merenjima, iznosi 366,2422... zvezdanih dana ili 365,2422... srednjih sunčanih dana (v. definiciju srednjeg sunčanog dana u 3.6.).

Ravnodnevničkim i povratnim tačkama prividna godišnja putanja Sunca deli se na 4 otsečka, a godina na 4 godišnja doba, koja odgovaraju vremenskim razmacima što ih Sunce upotrebi da prevale ove otsečke. Zbog različitog Zemljinog osunčavanja u toku svakog od njih imaju oni i svoje poznate posebne vremenske karakteristike (treća posledica Sunčevog prividnog godišnjeg kretanja). (Objasni podrobnije ove odlike služeći se sl. 14.).

3.2. Ekliptički koordinatni sistem

Za izučavanje Zemljinog kretanja, kao i kretanja drugih velikih planeta i tela Sunčevog sistema, koja se nikad mnogo ne udaljavaju od ekliptike, upotrebljava se, kao najpodesniji, sferni koordinatni sistem čija je osnovna ravan ravan ekliptike, kojoj odgovaraju polovi i polarna osovina ekliptike. To je ekliptički koordi-

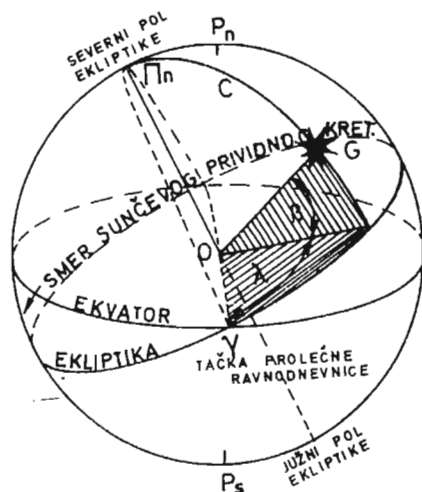
natni sistem. U ekliptičkoj ravni je osnovni pravac OY ili pravac ka Y tački, a smer merenja uglova direktan.

Ako kroz polove ekliptike i uočeno nebesko telo povučemo veliki krug, tzv. krug latituda, u njemu su koordinate nebeskog tela nebeska longituda λ i nebeska latituda β (sl.15.). Nebeska longituda se meri u ekliptičkoj ravni u direktnom smeru, od pravca ka Y tački do ravni kruga latituda nebeskog tela i može uzimati sve vrednosti od 0° do 360° .

Nebeska latituda se meri od ravni ekliptike do vizure ka nebeskom telu i za tela severno od ekliptike može uzimati sve vrednosti od 0° do $+90^\circ$, a za tela južno od ekliptike sve vrednosti od 0° do -90° .

Mesto nebeske latituda ponekad se upotrebljava i nebeska kolatituda c ili ugao između polarne osovine ekliptike usmerene ka njenom severnom polu i vizure. Za razna nebeska tela može uzimati razne vrednosti od 0° do $+180^\circ$.

Nebeska latituda i kolatituda vezane su izrazom $\beta + c = 90^\circ$.



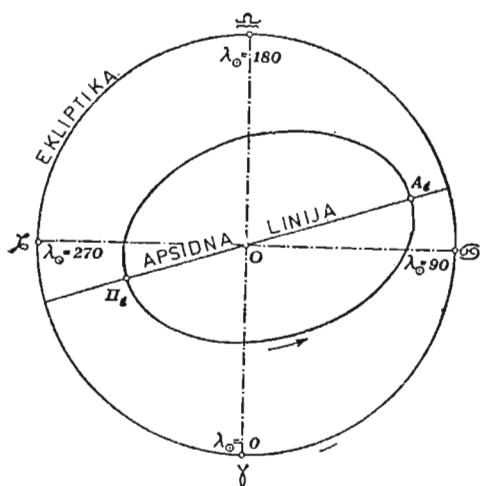
Sl. 15. Ekliptički koordinatni sistem

3.3. Oblik same Sunčeve prividne godišnje putanje i način Sunčevog prividnog kretanja po njoj

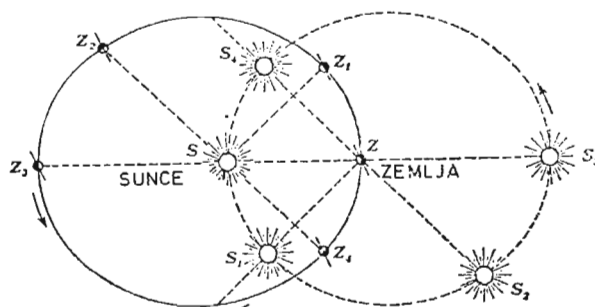
Videli smo da je ekliptika samo projekcija Sunčeve prividne putanje oko Zemlje na zaledje nebeske sfere. Pokažimo sada kako se posmatranjem (merenjem) može, dalje, odrediti i sam oblik Sunčeve prividne godišnje putanje i način njegovog kretanja po putanji.

Oblik Sunčeve prividne godišnje putanje može se odrediti ako se svakodnevno meri Sunčev uglovni ili prividni prečnik R_0 i osim toga iz merenih ekvatorskih koordinata izračuna njegova nebeska longituda λ_0 . Kako je prividni prečnik obrnuto srazmeran Sunčevoj daljini od Zemljinog središta, tzv. geocentričnoj daljini Δ , to se iz njegovih merenja mogu izvesti u izvesnoj razmeri vrednosti geocentričnih daljina.

Ako sa svakodnevnim vrednostima Sunčeve longitude i relativne geocentrične daljine kao polarnim koordinatama, s početkom u Zemljinom središtu, konstruišemo Sunčevu prividnu godišnju putanju (sl. 16), može se geometrijski dokazati da je ona elipsa u čijoj je jednoj žiži Zemlja. Tačka na ovoj putanji najbliža Zemlji naziva se perigeum P_g , a najdalja od nje apogeum A_g . Oko 3. januara Sunce je u perigeumu, a oko 4. juna u apogeumu. Ekscentričnost ove elipse je veoma mala: $e = 0,0168$.



Sl. 16. Prividna Sunčeva godišnja putanja u ravni ekliptike s položajem apsidne linije prema liniji solsticija



Sl. 17. Istovetnost pojave bilo da se posmatra Sunčevo prividno kretanje oko Zemlje ili Zemljino pravo kretanje oko Sunca (Objasni sliku!)

Način Sunčevog kretanja po prividnoj godišnjoj putanji upoznaćemo ako načinimo uzastopne razlike svakodnevnih Sunčevih longituda $\Delta\lambda_0$, tj. dnevne promene njegovih longituda. Tako možemo videti da je dnevna promena Sunčeve nebeske longitude u perigeumu najveća (oko $61'$), kao i njegov prividni prečnik (oko $32'36''$). U apogeumu je dnevna promena njegove nebeske longitude najmanja (oko $57'$), kao i njegov prividni prečnik ($31'32''$). Znači, Sunce se prividno najbrže kreće po svojoj putanji kad je najbliže Zemlji, a najsporije kad je najdalje od nje. Ova se brzina neprekidno povećava od A_g do P_g i smanjuje od P_g do A_g .

Otsečak prave koji spaja perigeum sa apogeumom je velika osovina elipse i naziva se apsidna linija. Ona se ne poklapa sa pravom koja spaja tačke solsticija na putanji, već sa njom zaklapa

ugao od oko 11° (sl. 16).

3.4. Objašnjenje prividnog godišnjeg kretanja Sunca Zemljinom revolucijom

Zamislimo sada da je Sunce nepokretno i da se Zemlja kreće oko njega u istom smeru u ravni ekliptike. Sa raznih Zemljinih položaja na njenoj putanji videćemo Sunce kako se projektuje na zaledje nebeske sfere u razne tačke zodijačkog pojasa. Sunce će se tada prividno kretati u direktnom smeru po pozadini neba opisujući ekliptiku (sl. 17.). (Objasni sliku!).

Prividno Sunčevo kretanje po ekliptici sa zapada na istok može se, dakle, svesti na pravo Zemljino kretanje u istom smeru po eliptičnoj putanji oko Sunca koje je u jednoj njenoj žiži. Neravnomernost Sunčevog godišnjeg kretanja dolazi u stvari od neravnomernosti pravog Zemljinog kretanja oko Sunca, čiji će uzrok kasnije biti objašnjen. Nije teško geometrijski pokazati da oblik i dimenzije putanje, kao i smer i brzina kretanja i izgled pojava ostaju isti bilo da smatramo Zemlju za nepomičnu a Sunce da se oko nje kreće ili obratno. Zato je čovek mnogo vekova bio u nedoumici koje je od ova dva kretanja pravo, a koje prividno.

Medjutim, upoznaćemo malo kasnije dokaze da je Zemljino godišnje kretanje oko Sunca pravo, a Sunčevo godišnje kretanje oko Zemlje samo prividno i posledica ovog Zemljinog kretanja.

Zamena uloga Sunca i Zemlje povlači i promene u nazivima njihovih uzajamnih položaja. Tačka na Zemljinoj putanji oko Sunca u kojoj je Zemlja najbliža Suncu naziva se perihel, a tačka u kojoj je Zemlja najdalja od Sunca afel. Apsidna linija zadržava isti položaj.

3.5. Orijentacija na Zemlji u prostoru i vremenu pomoću Sunca i zvezda

U uslovima putovanja kroz nepoznate predele ili gerilskog ratovanja često nam je potrebno da možemo u svakom trenutku sa tačke na kojoj se nalazimo da približno odredimo strane sveta i vreme, tj. da se orijentišemo na Zemlji u prostoru i vremenu, kako bismo odredili dalji pravac i smer kretanja.

To se najlakše postiže orijentisanjem po Suncu. Videli smo da u dane ravnodnevnica Sunce izlazi u istočnoj a zalazi u zapadnoj tački, te da u martu i septembru po tome možemo lako odrediti strane sveta na terenu. Videli smo i da se Sunčeve tačke izlaza i zalaza leti pomeraju ka severu a zimi ka jugu. Zato krajem juna Sunce u našim širinama izlazi približno na severoistoku a zalazi na severozapadu. Krajem decembra, pak, izlazi približno na jugoistoku, a zalazi na jugozapadu.

Možemo se lako orijentisati i ako znamo da se leti Sunce u našim predelima oko 6^h ujutru nalazi nad istočnom, a oko 6^h uveče nad zapadnom tačkom.

Isto tako, ako uočimo vreme kad su senke vertikalnih predmeta najkraće, pa se okrenemo ka Suncu, pred nama je južna tačka. A tada znamo i položaje ostalih.

Znamo li još da se Sunce u toku dana prividno pomera sa istoka na zapad po 15° na čas, možemo lako doći i do približnog vremena u datom trenutku. To će nam biti još lakše ako znamo da rašireni pedalj ispružene ruke pred očima pokriva na nebeskoj sferi luk od oko 15° ili da luk 1° odgovara približno dvostrukom Sunčevom prečniku. (Isprobaj ovu orijentaciju prvom prilikom kad odeš izvan grada!).

Najtačnija i najprostija orijentacija noću je orijentacija pomoću zvezda. Severnjaču možemo uvek lako naći noću na vedrom nebu. (v. 2.2.). Ispod nje je Severna tačka, a po njoj lako odredjujemo i ostale. Visina Severnjače, merena n.p.r. pedljima, daje nam približnu geografsku širinu tačke na kojoj se nalazimo.

Prava koja spaja Severnjačku sa "prednja dva točka" u sazveždju Velika Kola može da posluži kao kazaljka nebeskog časovnika, koja u svakom trenutku pokazuje vreme (sl. 18). Samo se treba setiti da njen položaj u istom trenutku noći zavisi i od doba godine. Kako ovaj luk prolazi približno i kroz tačku jesenje ravnodnevnice, to je on oko 23. septembra, oko ponoći, kad se Sunce nalazi u donjoj kulminaciji zajedno sa tačkom jesenje ravnodnevice, vertikalna i pokazuje na severnu tačku horizonta. Uočimo li još da se za 1^h ova kazaljka obrne za širinu Velikih Kola, možemo početkom jeseni "od oka" odrediti svaki čas noću po njenom položaju.

Njen početni položaj je početkom zime, oko ponoći, uperen od Severnjače udesno, na istok, a početkom leta, oko ponoći, ulevo, na zapad. Znajući ovo, možemo po položaju ove nebeske kazaljke u toku cele godine približno odredjivati noću vreme. (Isprobaj ovu orijentaciju i u prostoru i u vremenu sa jedne visoke krovnne terase prve vedre noći!).

3.6. Pravo, srednje i gradjansko vreme

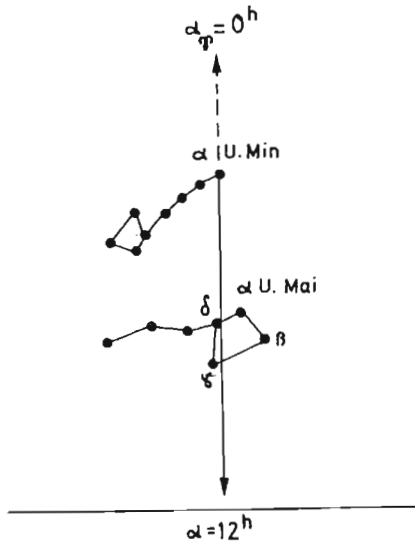
Zbog praktično ravnomernog Zemljinog obrtanja u zvezdanom danu je nadjena vremenska jedinica koja zadovoljava osnovni uslov svake jedinice za merenje - nepromenljivost.

Ali kako se gornja kulminacija γ tačke, tj. početak zvezdanog dana, ne događa uvek u istom trenutku prema gornjoj kulminaciji Sunca, već se u toku godine pomera prema njoj, to zvezdani dan nije pogodan za praktične potrebe, jer se prirodne pojave i događaji svakodnevnog života, koji se ponavljaju iz dana u dan u iste trenutke prema Suncu (visini Sunca), događaju svaki dan u drugim trenucima zvezdanog vremena. Zato je za astronomska posmatranja Sunca i za potrebe svakodnevnog života još od davnina bila usvojena druga jedinica za merenje vremena koja se definiše analogo zvezdanom danu. To je pravi Sunčani dan kao vremenski razmak između dve uzastopne gornje kulminacije središta Sunčevog prividnog kotura. Časovnim uglom Sunca τ meri se pravo sunčano vreme, ili kratko, pravo vreme. Početak pravog sunčanog dana pada u trenutak Sunčevog gornjeg prolaza kroz meridijan i naziva se pravo podne. Trenutak njegovog donjeg prolaza kroz meridijan naziva se prava ponoć. Ovo se vreme može lako izračunati iz merenja Sunčeve visine. Ona je u starom veku merena gnomonom - vertikalnim stubom koji baca senku na ravnu podlogu, a od III veka pre naše ere pojavio se u Rimu sunčani časovnik koji se upotrebljavao sve do novog veka, jer je tačnost njegovog pokazivanja bila dovoljna za tadašnje stanje proizvodnih snaga i društvenih odnosa.

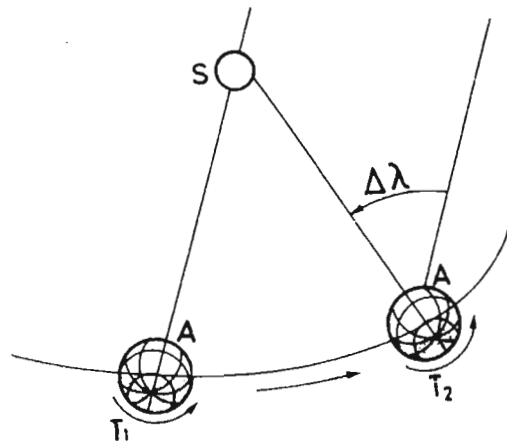
Pravi sunčani dan nije se mogao održati kao jedinica za merenje vremena, jer ne zadovoljava pomenuti osnovni uslov - njegova se dužina menja u toku godine. I doista, ako na sl. 19. zamislimo Zemlju T_1 na njenoj putanji T_1T_2 oko Sunca S i pretpostavimo da se u njenom položaju T_1 našla jednovremeno u meridijanu T_1A sa Suncem S

i neka zvezda, onda će se, po isteku jednog zvezdanog dana, ili jednog Zemljinog obrta, Zemlja pomeriti na svojoj putanji iz T_1 u T_2 i zvezda će, kao praktično beskrajno udaljena tačka, opet proći kroz isti meridijan. No Zemlji će biti potrebno da se obrne još za jedan mali ugao $\Delta\lambda$, pa da se Sunce S ponovo nadje u meridijanu mesta A . Odavde se vidi da je pravi sunčani dan zbog Zemljinog kretanja oko Sunca uvek duži od zvezdanog.

Ugao $\Delta\lambda$ nije ništa drugo do dnevni priraštaj Sunčeve longitude. Mi, međjutim, znamo da se Zemlja ne kreće jednakom brzinom oko Sunca, pa se zato priraštaji $\Delta\lambda$ iz dana u dan menjaju. No kad bi oni i bili među sobom jednaki (stalni), ne bi bile jednake njihove projekcije na ravan ekvatora ili priraštaji Δt_p časovnog ugla Sunčevog kojim se meri vreme, zbog toga što je ravan ekliptike nagnuta prema ravni nebeskog ekvatora ($\epsilon = 23,5^\circ$).



Sl. 18. Orijehtacija pomoću zvezda



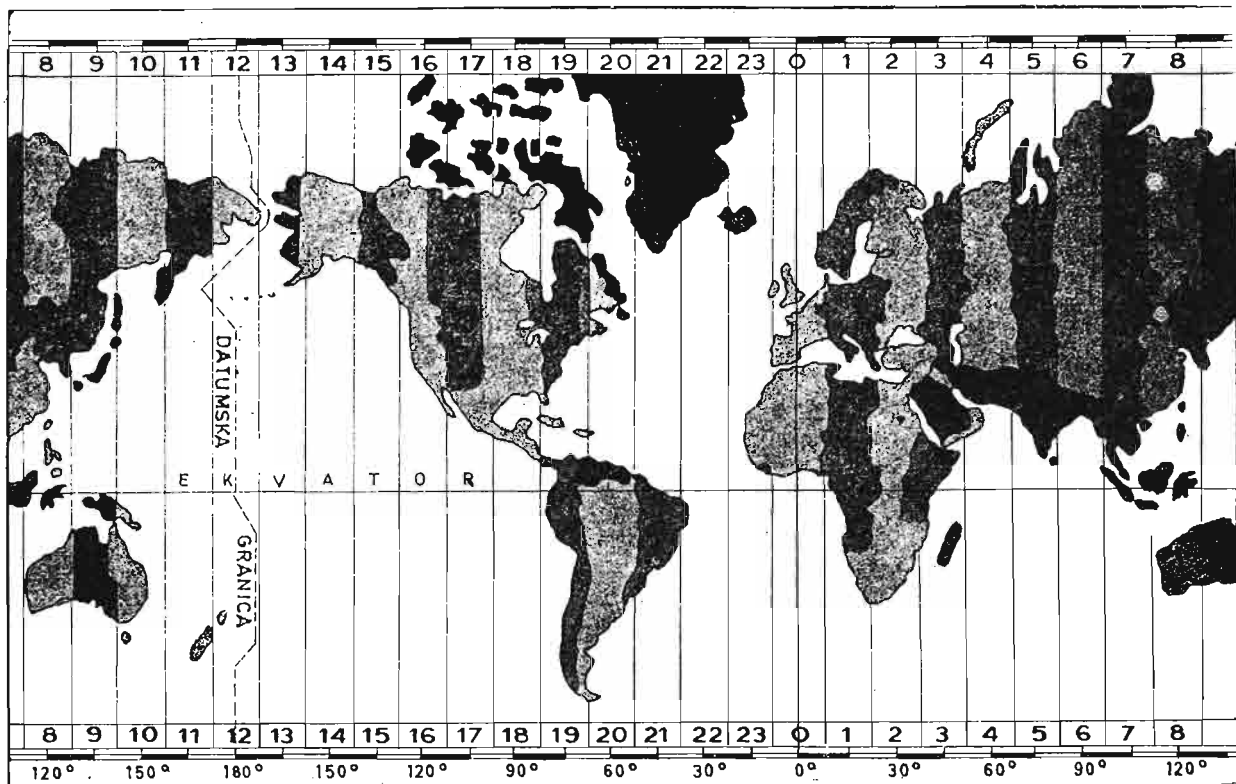
Sl. 19. Razlika u trajanju pravog i zvezdanog dana

Da bi mera za vreme ostala vezana za Sunce, prema čijem se kretanju upravlja celokupna čovekova delatnost, a da

bi se otklonili pomenuti nedostaci, uvedena je jedna fiktivna tačka, tzv. srednje sunce, koja se kreće ravnomerno, i to po nebeskom ekvatoru.

Jedinica za vreme, definisana upotrebom srednjeg Sunca

biće očigledno stalna. To je srednji sunčani dan, ili, kratko, srednji dan, tj. vremenski razmak između dve uzastopne gornje kulminacije srednjeg sunca. U prvom približenju on je jednak srednjoj vrednosti pravih sunčanih dana u tropskoj godini.



Sl. 20. Časovne zone i datumska granica (isprekidana linija)

Srednje vreme meri se časovnim uglom t_s srednjeg sunca. Početak srednjeg dana pada u trenutak gornjeg prolaza srednjeg sunca kroz meridijan i naziva se srednje podne. Trenutak njegovog donjeg prolaza kroz meridijan naziva se srednja ponoć.

Iako idealna mera za vreme, zbog svoje stalnosti, srednji sunčani dan je zbog svog početka u srednje podne unosio nezgode u svakodnevni život, jer je prva polovina dana pripadala jednom, a druga drugom datumu. Da bi se ovo izbeglo, prešlo se na računanje početka srednjeg dana od srednje ponoći i tako se došlo do pojma gradjanskog vremena (t_g), koje nije ništa drugo do srednje vreme računato od predhodne srednje ponoći: $t_g = t_s + 12^h$.

3.7. Mesno vreme. Zonsko i ukazno vreme

Da bi se došlo do vremena koje se upotrebljava u gradjanskom životu, mora se učiniti još jedan korak.

Počeci svih dosad definisanih vremenskih jedinica nalaze se u meridijanu jednog uočenog mesta. Zato se kaže da su, kako zvezdano, tako i pravo, srednje i gradjansko vreme, mesna vremena. Medjutim, već je iz njihovih definicija jasno da sva mesta na jednom istom meridijanu imaju u jednom trenutku ista zvezdana, odnosno ista prava, ista srednja i ista gradjanska vremena.

Upravljanje po gradjanskom vremenu, koje je za svako mesto koje se nalazi na drugom meridijanu u jednom istom trenutku različito, počelo je, s naglim razvojem proizvodnje i razmene u XIX veku, da izaziva neočekivano velike smetnje u saobraćaju, sredstvima za vezu i drugim međunarodnim odnosima. Ova je teškoća jedno vreme savladavana na taj način što su se pojedine zemlje na celoj teritoriji upravljale po mesnom vremenu prestonice. No sa još većim razvojem međunarodnih privrednih i ekonomskih veza ovo uopštavanje vremena nije bilo dovoljno. Sjedinjene Američke Države, kao jaka industrijska zemlja, prve su osetile ove teškoće, pa je na njihov predlog, međunarodnim sporazumom, usvojen 1883. godine sistem zonskog vremena. Čitava Zemlja je podeljena meridijanima na 24 "kriške", tzv. časovne zone (sl. 20.), a sva mesta u jednoj zoni upravljaju se po gradjanskom vremenu srednjeg meridijana u zoni. Za početnu, tzv. nultu zonu usvojena je ona koja se po geografskoj dužini proteže $7,5^{\circ}$ ili 30^m istočno i zapadno od početnog meridijana.¹⁾ Ona se naziva i zapadnoevropska zona, jer joj pripadaju sve zapadnoevropske zemlje, a sva mesta u njoj upravljaju se po griničkom gradjanskom vremenu. Ono se naziva i svetsko vreme i obeležava sa t_0 . Istočno od zapadnoevropske nalazi se prva ili srednjoevropska časovna zona, kojoj pripada i Jugoslavija. Sva mesta u njoj upravljaju se po gradjanskom vremenu srednjoevropskog meridijana, čija je geografska dužina 15° ili 1^h . Ovaj meridijan prolazi blizu Dravograda i Zadra. Ostale časovne zone redjaju se na istok i zapad, što se vidi na sl. 20. Svaka ima svoj redni broj i svoje ime. Granice ovih zona ne idu uvek meridijanima, već odstupaju pomalo u jednu ili drugu stranu, držeći se teritorijalne podele i principa da područje koje čini jednu ekonomsku ili drugu celinu treba da spada u jednu časovnu zonu.

¹⁾ Za početni je usvojen meridijan koji prolazi kroz Griničku opservatoriju kraj Londona, grinički meridijan.

Uvodjenjem časovnih zona, od beskrajno mnogo mesnih vremena u jednom istom trenutku na Zemlji prešlo se samo na 24 zva- nična vremena. Koristi od ovakvog načina računanja vremena veoma su velike. Saobraćaj i sredstva za vezu pri registrovanju vremena nemaju potrebe da poznaju geografsku dužinu svakog mesta, već samo redni broj njegove časovne zone, jer se vreme u jednom trenutku od zone do zone razlikuje za po jedan čas, dok minute sekunde i nji- hovi delovi ostaju isti. Ovim je olakšana i obrada raznovrsnih geo- fizičkih, astronomskih i drugih podataka. Putujući na zapad, put- nik pri prelazu granice svake zone pomera kazaljku svog časovnika za po 1^h unazad, a putujući na istok - za po 1^h unapred.

U mestima na meridijanu suprotnom od griničkog, tj. sa geografskom dužinom 180° , biće onda u jednom istom trenutku mesno vreme i 12^h veće i 12^h manje od griničkog, prema tome da li smo na ovaj meridijan stigli idući istočno ili zapadno od početnog meridi- jana. Da bi se ova teškoća izbegla, međunarodnim dogovorom je utvr- đjena u blizini tog meridijana jedna linija koja ide morima i oke- anima i koja je nazvana datumska granica. Moreplovci koji je prela- ze putujući sa zapada na istok broje u svojim dnevnicima dvaput je- dan isti datum i sedmični dan, a oni koji je prelaze putujući sa istoka na zapad izostavljaju po jedan datum i sedmični dan.

Uzrok pojave je u tome što putnik koga Zemlja nosi pri svome obrtanju još i sam obilazi oko nje, pa ako je obidje sa za- pada na istok, u smeru u kome se i ona sama obrće, onda je načinio jedan obrt više od nje i za njega će Sunce izići jedanput više no za nepokretnog Zemljinog stanovnika. Pri putovanju na zapad on se kreće suprotno od Zemljinog obrtanja, pa pri obilasku Zemlje nači- ni jedan obrt manje no ona sama, pa će za njega Sunce izići jedan- put manje no za nepokretnog Zemljinog stanovnika.

Zonsko vreme su postupno prihvatile sve evropske zemlje, a zatim i ostale, danas bezmalo sve. U daljim računima obeležavaće- mo zonsko vreme sa t_i , $i = 0, 1, 2, \dots, 23$, gde indeks i označava re- dni broj zone. Veza zonskog sa svetskim vremenom tada je $t_i = t_0 + i$.

Za vreme prvog svetskog rata, a i posle njega, mnoge su zemlje, rukovodjene ekonomskim razlozima (ušteda u gorivu i osvet- ljenju, povećanje radnog učinka, itd.) zavele tzv. ukazno vreme (t_u)

izdajući naredbu da se kazaljke svih časovnika pomere unapred prema zonskom vremenu za 1^h ili 2^h , ili uopšte za u časova. Danas je ukazno vreme sa pomeranjem 1^h prema zonskom usvojeno u mnogim zemljama, a u ponekim samo u letnjem periodu (letnje vreme). U Jugoslaviji je još uvek zvanično srednjoevropsko vreme. Veza između zonskog i ukaznog vremena u opštem slučaju je $t_u = t_i + u$.

3.8. Časovna služba

Časovna služba, od velikog značaja za nauku i praksu svakodnevnog javnog života, obavlja se na astronomskim opservatorijama i sastoji se iz operacija odredjivanja, održavanja i prenošenja tačnog vremena.

Odredjivanje vremena vrši se astronomskim posmatranjima (merenjima). Videli smo da je u trenutku prolaza zvezde kroz meridijan mesno zvezdano vreme s jednako njenoj rektascenziji α . S druge strane, tačno zvezdano vreme jednako je zbiru časovnikovog pokazivanja T i stanja ili popravke tog časovnika C_p :

$$s = T + C_p.$$

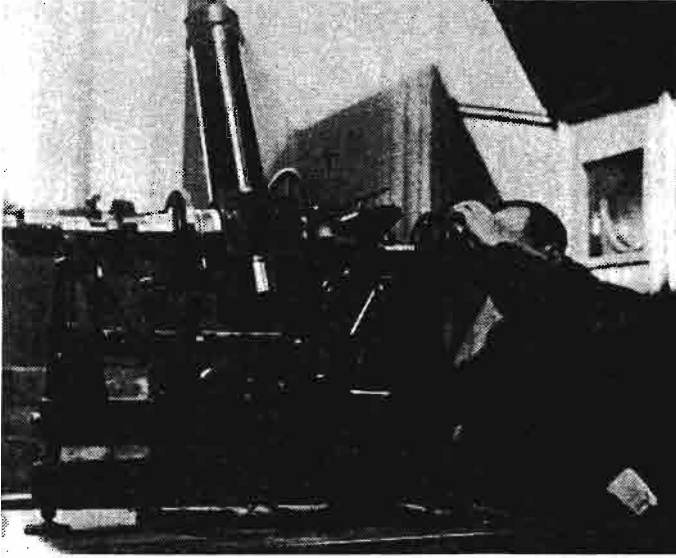
Ako uporedimo poslednje dve jednačine, za odredjivanje časovnikovog stanja dobivamo prost izraz:

$$C_p = \alpha - T.$$

Prividna rektascenzija posmatrane zvezde uzima se iz astronomskih efemerida (godišnjaka)²⁾ za trenutak posmatranja. Za odredjivanje vremena T koje pokazuje časovnik u trenutku kad je zvezda prošla kroz meridijan upotrebljava se univerzalni instrument ili još češće, pasazni instrument (sl. 21) čiji je srednji vertikalni konac u vidnom polju prethodno doveden u meridijan.

2) *Efemeride su astronomski kalendari u kojima se daju za tekuću godinu (za odredjene datume, odn. časove) koordinate Sunca, Meseca, planeta, sjajnih zvezda i podaci za razne pojave koje će se dogoditi u toj godini. Objavljuju se obično na godinu ili dve unapred. Kod nas u astronomskom časopisu "Vasiona" (Beograd), Almanahu "Bošković" (Zagreb) i u časopisu "Proteus" (Ljubljana).*

S manjom tačnošću ovaj se trenutak može odrediti pomoću dva viska, čija je ravan prethodno dovedena u meridijan. Oko se postavi tako da se dva konca prividno poklope, pa se ocenjuje vreme kada zvezda u prividnom dnevnom kretanju preseče konac viska (sl. 22).



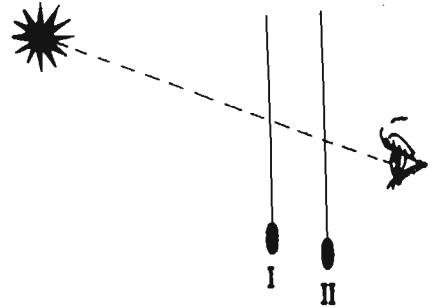
Sl. 21. Pasažni instrument (mali prenosni)

Danas su u upotrebi elektronski hronografi visoke tačnosti.

Održavanje vremena .- Vreme se može odrediti iz astronomskih posmatranja samo vedrih večeri. U medjuvremenu se ono održava pomoću preciznih časovnika: hronometra, časovnika s klatnom, a u poslednje vreme - pomoću preciznih kvarcnih (sl. 23.) i atomskih časovnika. Za svaki časovnik vodi se dnevnik njegovog stanja i hoda. Ako se njegovo stanje C_p upisuje u trenutku svakog astronomskog određivanja, ono se može interpolovanjem izvesti za svaki dan u određenom trenutku. Prve razlike ovako izvedenih dnevnih stanja, ili dnevni hod, ΔC_p , časovnika, tada služe da prostim računom dobijemo njegovo stanje u svakom trenutku koji nas interesuje, a s tim i tačno vreme u tom trenutku:

$$s = T + C_p .$$

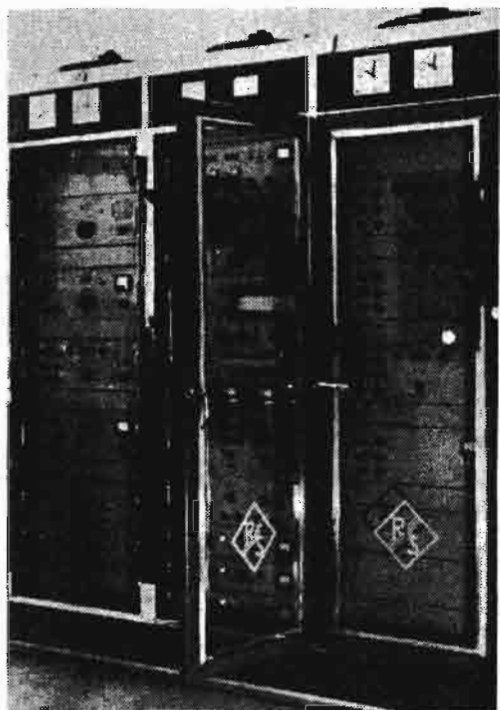
Prenošenje vremena. Sve veće opservatorije više puta dnevno emituju preko obližnjih radiostanica sekundu svog časovnika u vidu tzv. časovnih signala. Pre njihove emisije ovaj se časovnik



Sl. 22. Određjivanje trenutka prolaza zvezde kroz meridijansku ravan određenu pomoću dva viska

Ovo se vreme obično registruje s visokom tačnošću na aparatu za registrovanje vremena - hronografu.

dotera da pokazuje tačno vreme na taj način što mu se izračuna stanje C_p za trenutak emisije i algebarski doda na njegovo pokazivanje.



Sl. 23. Baterija od 3 kvar-
ena časovnika

vreme.- Do polovine ovog veka brižljivim ispitivanjima je otkriven čitav niz veoma sitnih neravnomernosti u Zemljinom obrtanju, pa se nije više mogao zadržati srednji dan, odnosno srednja sekunda kao osnovna jedinica za merenje vremena, jer je izgubila osnovnu osobinu koja se od nje traži - nepromenljivost. Zato je međunarodnim dogovorom 1958. god. odlučeno da se vreme Zemljinog obilaženja oko Sunca uzme ubuduće za zvanično vreme i nazove efemeridisko vreme, a da se njegove jedinice izvedu iz tropske godine tako da se izvanredno malo razlikuju i što manje razilaze od starih vremenskih jedinica.

Najzad je usvojena, kao polazna jedinica za merenje efemeridiskog vremena, tropska godina za epohu 12^h efemeridiskog vremena 0. januara 1900. god. Manja jedinica je efemeridiski dan ili 365,24219878-mi deo gornje tropske godine. Još manje jedinica je efemeridska sekunda kao 86400-ti deo efemeridskog dana, ili

Svi koji su zainteresovani za tačno vreme mogu tada lako, preko radio-prijemnika, da uporede pokazivanje svog časovnika T u trenutku emisije sa pokazivanjem časovnika koji emituje tačno vreme s i tako da odrede stanje svog časovnika:

$$C_p = s - T$$

tj. da raspolažu tačnim vremenom. Časovna služba je poslednjih decenija organizovana na međunarodnoj osnovi i zahvaljujući tome obezbeđuje tačnost od 0,001 u poznavanju vremena.

3.9. Efemeridsko vreme. Nova definicija sekunde. Atomsko

31 556 925, 9747 -mi deo gornje tropske godine.

Poslednjih godina usavršeni su kvarcni časovnici čiju ravnomernost hoda obezbeđuje konstantno treperenje pločice kvarca u električnom polju. Pronađen je i atomski časovnik, još ravnomernijeg hoda, koji je obezbeđen izvanredno konstantnim periodičnim kretanjima u atomu vodonika ili cezijuma. Ovi časovnici ne odstupaju od tačnog vremena ni $0,001$ za godinu dana, a najnoviji i mnogo manje. Zato je poslednjih godina međunarodnim dogovorima uvedeno i tzv. atomsko vreme koje pokazuju atomski časovnici prilagođeni po hodu efemeridskom vremenu, a vreme koje se određuje iz astronomskih posmatranja nazvano je univerzalno vreme. Tako je vremenski etalon, mesto astronomskog postao fizički, kao i etaloni za dužinu i masu. Atomsko vreme je ravnomernije od Zemljine rotacije i od njene revolucije i danas omogućuje da se prema njemu bliže ispituju i upoznaju ove dve prirodne pojave, kao i da se dodje do čitavog niza otkrića u vezi s njima.

3.10. Veće jedinice za vreme. Kalendar

Još u prastara vremena osetio je čovek potrebu i za većim vremenskim jedinicama od dana i uveo sedmodnevnu nedelju i mesec, a kasnije i gradjansku godinu, za merenje dužih vremenskih razmaka. I mesec i gradjanska godina, uvedeni za potrebe praktičnog života, morali su sadržati ceo broj dana, a gradjanska godina i ceo broj meseci. Medjutim, ove jedinice nisu proizvoljne, već uzete iz prirode. No, odgovarajuće prirodne jedinice ne sadrže ceo broj dana; sinodički mesec ili ciklus Mesečevih mena ima 29,531... a tropska godina 365,24220... srednjih sunčanih dana. Osim toga, sinodički mesec i tropska godina ni medju sobom nisu samerljivi.

Kako se, medjutim, veština sastavljanja kalendara baš i sastoji u tome da se podese da se iste prirodne pojave vraćaju u isti datum u godini, to uzimanje meseca i godina sa celim brojem dana, kao i godina sa celim brojem meseci za veće vremenske jedinice, mora pre ili posle dovesti do razilaženja kalendara od prirodnih pojava. Zato je nemoguće sastavljanje kalendara koji će se neograničeno i idealno slagati s tokom prirodnih pojava.

Julijanski kalendar ili stari stil. Naš današnji kalendar vodi poreklo od novog rimskog kalendara, koji je bio sunčani. U njemu se vodilo računa samo da se podesi da se pojave vezane za Sunce, tj. za godišnja doba, vraćaju u iste datume.

Da bi učinio kraj haotičnom stanju u kome se nalazio stari rimski kalendar, na predlog aleksandrijskog astronoma Sosi- gena, Julije Cezar je utvrdio kalendar po kome je posle svake 3 proste godine sa po 365 dana uvedena jedna prestupna sa 366 dana, kako bi se izravnala razlika između kalendarske i prirodne, trop- ske godine, koja bi se nakupila za 4 kalendarske. Dopunski dan do- dat je u prestupnoj godini februaru, koji je u ono vreme bio pos- lednji mesec u godini. Ovako zamišljen i ostvaren, novi rimski ka- lendar dobio je po Cezaru naziv julijanski. On se upotrebljavao sve do skoro u nekim evropskim državama pod imenom stari stil. Srpska crkva se njime i danas služi.

Ovakvo računanje vremena je veoma prosto i vrlo se dugo slaže s prirodnim tokom pojava, a zatim počinje veoma polako da se razilazi od njega, pa je i danas zadržano u nauci da se po njemu računaju razmaci između udaljenih događaja.

Gregorijanski kalendar ili novi stil. Sa trajanjem pro- sečno 365,25 dana, julijanska je godina bila duža od tropske za $11^m 14^s$. Ova razlika nije više bila velika, pa je ona dostizala 1 dan tek nakon svakih 128 godina. Prolećna ravnodnevnica , koja je u IV veku padala 21. marta, u V je padala 20. marta, u VI 19. i tako se sve više pomicala ka zimskim mesecima. U XVI veku ova razlika je narasla već na 10 dana, što je tada počelo padati u oči po dužini dana.

Papa Grgur XIII usvojio je predlog italijanskog astro- noma Lilijskog i izvršio reformu julijanskog kalendara. Cilj ove re- forme bio je da se poništi dotle nagomilana razlika između kalen- darske i tropske godine i da se ubuduće godine računaju tako što će se automatski poništiti ova razlika od 1 dana svakih 128 godina koja se dotle pojavljivala. Kako ova razlika iznosi 3 dana za pri- bližno 400 godina, to je rešeno da se ubuduće u razmaku od 4 sto- leća računaju 3 prestupne godine manje no do tada.

Prvo je odlučeno da se iza četvrtka, 4. oktobra 1582. godine, računa petak, 15. oktobar. A da bi se ubuduće sprečilo odstupanje kalendarske godine od tropske, rešeno je da od godina kojima se završavaju vekovi (1600, 1700, 1800 ...) bude prestupna tek svaka četvrta (1600, 2000, 2400...).

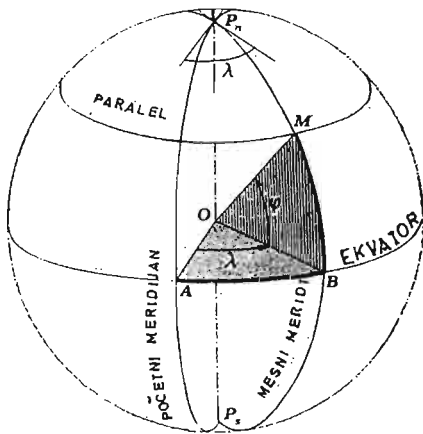
Ovaj gregorijanski kalendar, ili novi stil, koji je dosta bliži prirodi od starog, u toku skoro 4 stoleća veoma postupno su počele usvajati skoro sve zemlje, tako da je on postao opšti zvanični kalendar. Bolji kalendar od gregorijanskog dao je 1924. g. naš astronom Milutin Milanković. I danas se pokušava da se kalendar usavrši.

Niz pravila za sastavljanje kalendara, zatim za računanje datuma i nedeljnih dana starih događaja od značaja za istoriju i arheologiju obuhvaćeni su posebnom granom astronomije koja se naziva hronologija i koja predstavlja još jednu njenu praktičnu primenu.

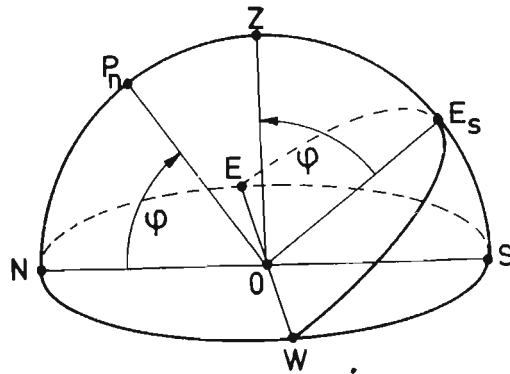
3.11. Geografske koordinate

O tačnijem Zemljinom obliku i njegovom određivanju govoriće se kasnije. Ovde ćemo smatrati da je Zemlja u prvom približenju lopta. Tačke P_n i P_s (sl. 24.), u kojima svetska osovina probija Zemljinu površinu, nazivaju se Zemljini rotacioni polovi - severni i južni. Ravan nebeskog ekvatora seče Zemljin ekvator. On deli Zemljinu loptu na severnu i južnu poluloptu, koje se nazivaju po istoimenim polovima. Ravni paralelne ekvatorskoj seku Zemljinu površinu duž malih krugova - Zemljinih paralela ili uporednika. Ravni koje prolaze kroz svetsku, odnosno Zemljinu, osovину seku Zemljinu površinu duž velikih krugova - Zemljinih meridijana. Položaj svake tačke na Zemljinoj površini određen je trima koordinatama: geografskom širinom, geografskom dužinom i nadmorskom visinom te tačke.

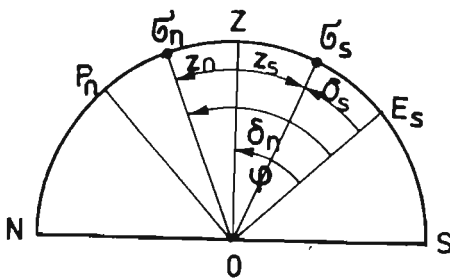
Geografska širina φ je ugao koji zaklapa vertikalna u datoj tački Zemljine površine sa ekvatoriskom ravni. Sa sl. 25. vidi se da je geografska širina jednaka visini pola nad horizontom te tačke. Izražava se u stepenima, minutima i sekundima i računa pozitivnom za mesta severno od ekvatora, a negativnom za mesta južno od njega. Sva mesta duž jednog Zemljinog paralela imaju istu geografsku širinu. Ona se određuje raznim astronomskim metodama, u



Sl. 24. Koordinate tačke na Zemlji



Sl. 25. Visina zenita nad ekvatorom jednaka je visini pola nad horizontom



Sl. 26. Računanje geografske širine iz zenitne daljine i deklinacije zvezde u meridijanu

principu najprostije iz merene zenitne daljine zvezde u meridijanu (sl. 26.), jer tu postoji prosta veza

$$\varphi = z_s + \delta_s$$

ili

$$\varphi = z_n - \delta_n$$

između tražene geografske širine φ , merene zenitne daljine zvezde z_s ili z_n i njene deklinacije δ_s ili δ_n koja se uzima iz zvez-

danih kataloga ili astronomskih godišnjaka, zvanih efemeride.

Geografska dužina (L) je ugao diedar između meridijanske ravni početnog meridijana na Zemlji i meridijana datog mesta. Izražava se češće u časovima, minutama i sekundama i računa pozitivnom za mesta zapadno od početnog meridijana, a negativnom za mesta istočno od njega. Određuje se astronomskim metodama, u poslednje vreme redovno metodom časovnih radiosignala. Koristi se prosta veza

$$\lambda = S_n - S_G,$$

da je geografska dužina jednaka razlici mesnih zvezdanih vremena u našem mestu i u Griniču, tj. na početnom meridijanu, u istom fizičkom trenutku, što je očigledno sa sl. 27. s_M se dobiva iz zabeleženog trenutka prolaza poznate zvezde kroz meridijan posmatračevog mesta, jer je, kao što smo ranije videli, u meridijanu $s_M = \alpha$, a α nalazimo u zvezdanim katalogima ili efemeridama. Griničko zvezdano vreme s_G u istom trenutku računa se iz primljenih časovnih radiosignala.

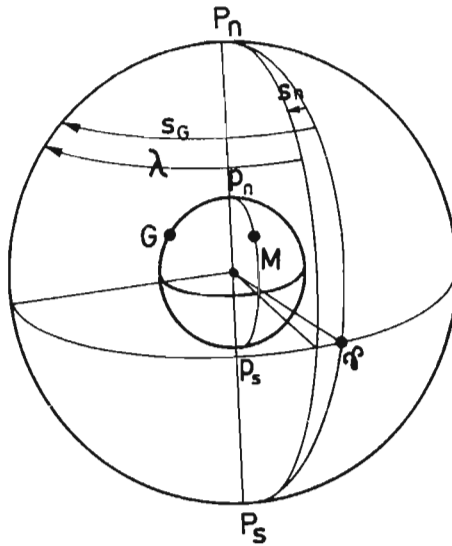
Sva mesta duž jednog meridijana imaju istu geografsku dužinu.

Nadmorska visina (H) je visina u metrima date tačke nad mirnim srednjim morskim nivoom koji je zamišljen da se proteže ispod svih kontinenata. Njegov položaj određuje se instrumentima maregrafima, a nadmorske visine se određuju geodetskom metodom zvanom nivelman.

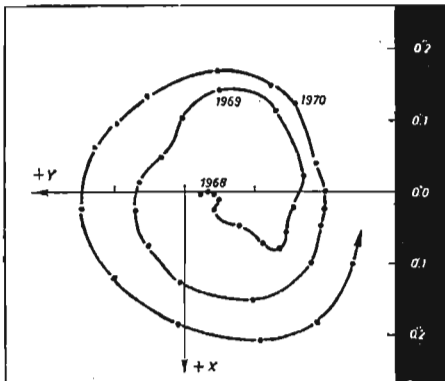
3.12. Primena astronomije u geodeziji, kartografiji i geofizici

Premer zemljišta geodetskim metodama omogućuje izradu njegovih preciznih planova i karata raznih vrsta, razmera i namenjena u naučne, privredne i odbranbene svrhe. Ali, ove se karte ne mogu postaviti (orijentisati) prema koordinatnoj mreži Zemljinih meridijana i paralela ako nije na većem broju tačaka te teritorije (tzv. Laplasovih tačaka) astronomski određena geografska širina i dužina. Isto tako, ne može se odrediti ni precizan Zemljin oblik (geoid, o kome će se više govoriti kasnije) ako na još mnogo većem broju tačaka (tzv. geoidne tačke) nisu prethodno astronomski određene geografske koordinate.

Stalnim njihovim određivanjem na većem broju stanica na Zemlji otkrivene su, krajem prošlog veka, i sistematske periodične promene tih širina, koje se javljaju zbog toga što Zemljini polovi nisu nepomični na njenoj površini, već se periodično kreću po jednoj nepravilnoj spirali (polhođija), koja se povremeno širi i skuplja, ali ne izlazi iz kruga poluprečnika 25m (sl. 28.). Ovo pomeranje Zemljinih polova ima dve periode: godišnju i tzv. Čendlerovu (od 14 meseca), kao i još neke nedovoljno ispitane.



Sl. 27. Razlika geografskih dužina jednaka je razlici mesnih vremena



Sl. 28. Putanja Zemljinog pola po Zemljinoj površini (polhodi-ja)

Uzroci ovog kretanja su: nejednaka gustina u Zemljinoj unutrašnjosti, kao i pomeranje vodenih i vazdušnih masa na njenoj površini, kao i drugi uzroci koji su još u istraživanju.

Iz ovoga se vidi da astronomska posmatranja i proučavanja imaju ne samo veliki naučni već i praktični značaj, o čemu će se docnije još govoriti. Astronomija sličnim metodama izučava i promene geografskih

dužina i pomeranja kontinenata. Sva su ova izučavanja od velikog značaja i za geofiziku, jer se iz njih izvode zaključci o fizičkim osobinama i gradnji Zemljine kore.

3.13. Primena astronomije u prekomorskoj i vazdušnoj plovidbi

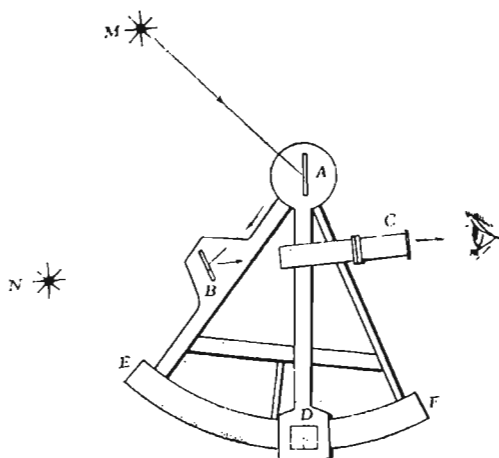
Prekookeanski brodovi plove po najkraćoj, unapred ucrtanoj krivoj na tzv. Merkatorovoj svetskoj karti. Da bi brod plovio po ovoj krivoj, mora se na njemu dovoljno često određivati

njegov položaj, tj. njegove geografske koordinate, i zatim ispravljati kurs da bi se brod stalno držao unapred utvrđene linije plovidbe. Geografske koordinate se na brodu određuju iz mernih visina Sunca ili zvezda malim instrumentom - sekstantom (sl. 29.), koji je izumeo još Njutn. Ovako određeni položaj broda ucrtava se u kartu. Odmah ispravlja kurs broda da bi se doveo na ranije utvrđeni.

Na sličan način se određuje, uz pomoć specijalno prilagodjenog sekstanta i tablica ili računara, i položaj aviona na

dalekim letovima. Ako otkazu tehnička sredstva za orijentaciju, ova metoda je jedino sigurna da avion stigne na cilj.

Sličnim metodama koriste se i ekspedicije u daleke i neispitane predele, kojih je poslednjih godina sve više na Antarktiku koji čoveku obećava neizmerne materijalne dobiti. Za ove svrhe danas se koriste i posebne fizičke metode, uz pomoć namen-



Sl. 29. Sekstant

skih veštačkih Zemljinih satelita.

Evo još jedne velike praktične primene astronomskih znanja!

Z a d a c i

1. Izračunaj razliku u dužini između velike i male poluose Zemljine putanje iz poznate ekscentričnosti ($e = 0,017$) putanje i poznate Zemljine srednje daljine od Sunca ($A = 149600000$ km).

2. Pokaži crtežem da je razlika geografskih dužina dva mesta jednaka razlici njihovih mesnih vremena.

3. U trenutku gornje kulminacije zvezde α Oriona ($\alpha = 5^{\text{h}} 51^{\text{m}}$) časovnik koji radi po griničkom zvezdanom vremenu pokazuje $15^{\text{h}} 9^{\text{m}}$. Odredi geografsku dužinu tog mesta od Griniča.

4. Grinički časovnik šalje časovne signale u $12^{\text{h}}00^{\text{m}}$. U tom trenutku časovnik koji tačno radi po mesnom vremenu pokazuje $15^{\text{h}}18^{\text{m}}$. Kolika je geografska dužina tog mesta?

5. 14. juna je na brodu izmerena sekstantom Sunčeva zenitna daljina u trenutku njegove kulminacije: $22^{\circ}2'$, a hronometar koji radi po griničkom zvezdanom vremenu pokazivao je $8^{\text{h}}23^{\text{m}}$. Sunčeve kordinate su u tom trenutku bile $\alpha = 5^{\text{h}}26^{\text{m}}$, $\delta = +18^{\circ}25'$. Nadji na karti mesto na kome se brod nalazio.

6. Izračunaj koliko bi časovnik sa sekundnim klatnom koji tačno radi u Beogradu ($g = 9,806 \text{ m/sec}^2$) zaostajao na ekvatoru ($g = 9,781 \text{ m/sec}^2$).

7. Kad se zna da tropska godina sadrži 365,2422 dana, a 366,2422 zvezdanih dana, izračunaj koliko iznose u zvezdanom vremenu srednji dan, čas, minuta i sekunda i koliko iznose u srednjem vremenu zvezdani dan, čas, minuta i sekunda.

8. Izrazi razmak od $15^{\text{h}}11^{\text{m}}50^{\text{s}},8$ zvezdanog vremena jedinicama srednjeg vremena.

9. Izrazi razmak od $10^{\text{h}}12^{\text{m}}5^{\text{s}},32$ srednjeg vremena jedinicama zvezdanog vremena.

10. 22. septembra u ponoć poklapa se početak građanskog dana s početkom zvezdanog dana. Zatim se zvezdano vreme povećava prema građanskom za oko 4^{m} dnevno ili za oko 2^{h} mesečno. Izračunaj približno koliko će biti zvezdano vreme u ponoć 1. maja, a koliko 1. maja u $20^{\text{h}}30^{\text{m}}50^{\text{s}}$?

11. Nadji zonsko vreme u Beogradu ($L = 1^{\text{h}}22^{\text{m}}3^{\text{s}}$) u $18^{\text{h}}24^{\text{m}}30^{\text{s}}$ mesnog srednjeg vremena.

12. Koliki je najveći mogući broj nedelja (misli se na nedelju kao dan) u februaru? Za koga i pod kojim uslovima?

P o s m a t r a n j a

1. Načini gnomon i odredi iz njegove dužine i dužine njegove senke visinu Sunca u datom trenutku.

2. Odredi gnomonom približnu geografsku širinu svog mesta.

3. Odredi gnomonom nagib ekliptike prema ekvatoru.

4. Obesi dva viska u ravni meridijana. Odredi pomoću

njih trenutak prolaza jedne poznate sjajne zvezde kroz meridijan i iz njega popravku svog časovnika.

5. Pokušaj da napraviš empirijski sunčani časovnik s horizontalnim cifarnikom. Zabeleži po njemu u jednom trenutku vreme i uporedi ga sa vremenom koje pokazuje tvoj ručni časovnik. Iz čega se sve sastoji ova razlika?

6. Posmatraj u planetorijumu prividno godišnje kretanje Sunca i uočii sve karakteristične njegove položaje na ekliptici, kao i položaj same ekliptike nad horizontom mesta i medju sazveždjima.

GLAVA IV

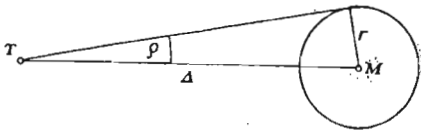
PRIVIDNO I PRAVO KRETANJE MESECA

4.1. Mesečeva daljina i prava veličina

Mesec je jedini prirodni Zemljin pratilac - satelit. Zato što nam je najbliže nebesko telo najbolje ga i poznajemo.

Kad su pre dva i po veka izmerene njegove zenitne daljine sa dva udaljena mesta na istom Zemljinom meridijanu, trigonometrijski je dobivena i njegova daljina. Ona se usled njegova kretanja oko Zemlje menja (od 365400 km do 406700 km) i njena srednja vrednost iznosi oko 60 Zemljinih poluprečnika ili 384400 km.

Mesečev prividni prečnik $2 R_{\text{L}}$ se može lako neposredno izmeriti. On se menja od $29'28''$ do $33'21''$, sa srednjom vrednošću od $31'25''$.

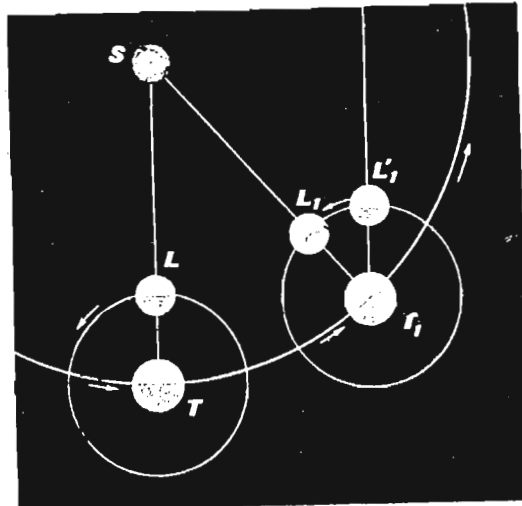


Sl. 30. Izračunavanje pravog Mesečevog poluprečnika iz izmerenog prividnog

Njegov pravi poluprečnik (sl. 30) se može izračunati iz daljine Δ i prividnog poluprečnika R_{L} iz izraza $r = \Delta \sin R_{\text{L}}$.

On iznosi 1738,2 km ili $3/11$ Zemljinog poluprečnika. (Izračunaj sam Mesečevu površinu i zapreminu i uporedi ih sa Zemljinim! (Zemljin poluprečnik iznosi 6370 km).

Mesečeva masa iznosi samo $1/81$ Zemljine. Ako masu podelimo zapreminom, za prosečnu Mesečevu gustinu dobivamo iznos



Sl. 31. Objašnjenje razlike u trajanju sideričkog i sinodičkog meseca

$3,3 \text{ g/cm}^3$, tj. $3/5$ Zemljine prosečne gustine. (Kolika je onda prosečna Zemljina gustina?).

4.2. Prividno Mesečevo kretanje. Mesečeve mene

Prividno Mesečevo kretanje oko Zemlje može se izučiti, kao i Sunčevo, ako se dovoljno često određuju koordinate α , δ istim instrumentom i na isti način kao i Sunčeve kroz period Mesečevih mena. Ako ove koordinate nanese na zvezdani globus i spojimo tačke, videćemo da je projekcija Mesečeve putanje oko Zemlje na nebesku sferu veliki krug koji sa ekliptikom zaklapa ugao $i = 5^\circ 9'$. On seče ekliptiku u dvema tačkama, tzv. uzlaznom (\uparrow) i silaznom čvoru (\downarrow) svoje putanje. To je njegova prividna putanja.

Vremenski razmak S u kome se Mesec, kad opiše svoju prividnu putanju oko Zemlje, vrati u isti položaj prema zvezdama iznosi $27^{\text{d}}7^{\text{h}}43^{\text{m}}11^{\text{s}},5$ i naziva se siderički mesec. Razmak C u kome se vrati u isti položaj prema Suncu iznosi $29^{\text{d}}12^{\text{h}}44^{\text{m}}2^{\text{s}},8$ i naziva se sinodički mesec. (Objasni razliku u njihovom trajanju pomoću sl. 31!).

Mesečeve mene. Mesec je tamno nebesko telo, koje se vidi kad je obasjano snopom Sunčevih zrakova koji na nj padaju. Ovi su zraci paralelni medju sobom, jer je Sunce praktično beskrajno daleko. Obasjana je uvek ona Mesečeva polovina koja je okrenuta Suncu. Od Mesečeve polovine okrenute Zemlji videće se stoga samo jedan deo, koji je zajednički za polovinu okrenutu Suncu i polovinu okrenutu Zemlji. Taj deo je oivičen s jedne strane rubom Meseca, a s druge strane granicom svetle i tamne Mesečeve površine koja se naziva terminator. Vidljivi deo Meseca naziva se Mesečeva mena (fa-za).

Kad je Mesec izmedju Zemlje i Sunca, ne vidi se njegova strana okrenuta Zemlji. Ta mena se naziva mlad mesec (sl. 32) ili mladina.

Mlad mesec izlazi ujutro i zalazi uveče, zajedno sa Suncem. Tek kad dostigne starost od 2 dana, Mesec postane vidljiv kao tanak srp s večeri, na zapadu, čija je ispupčena strana okrenuta desno, ka Suncu. Kada je desna polovina Mesečevog kotura osvetljena, kaže se da je Mesec u prvoj četvrti. (sl.32.). Tada on izlazi oko podne, a zalazi oko ponoći. Kada je ceo Mesečev kotur osvetljen

ta se mena naziva pun mesec (sl. 32.), ili uštap. On izlazi uveče, a zalazi ujutro. Kad je leva Mesečeva polovina osvetljena, kaže se da je Mesec u poslednjoj četvrti (sl. 32.). Tada on izlazi oko ponoći, a zalazi oko podne. Dva dana pred mladinu vidi se kao tanak srp okrenut levom, ispupčenom stranom Suncu. Najzad, kada se posle isteka sinodičkog meseca vrati u mladinu, postane opet nevidljiv.

Često je Mesečev neosvetljeni deo ipak pomalo vidljiv u Sunčevoj svetlosti odbijenoj od Zemlje. To je tzv. Mesečeva pepeljava svetlost.

4.3. Pravo kretanje Meseca

Ako iz Mesečevih izmerenih koordinata α, δ izračunamo njegove ekliptičke koordinate, a zatim polarne koordinate na putanji L i d i ako u ravni prividne Mesečeve putanje uzmemo Zemljino središte za koordinatni početak i s polarnim koordinatama L i d u izvesnoj razmeri ucrtamo prave Mesečeve položaje prema Zemlji, dobićemo za njegovu pravu putanju oko Zemlje elipsu, sa velikom poluosom $a = 1,006$ srednje Mesečeve daljine, sa ekscentričnošću $e = 1/22,5$ i longitudom perigeja $\omega = 95^{\circ},4$. Poslednji elemenat pokazuje orijentaciju ekliptičke putanje u njenoj ravni.

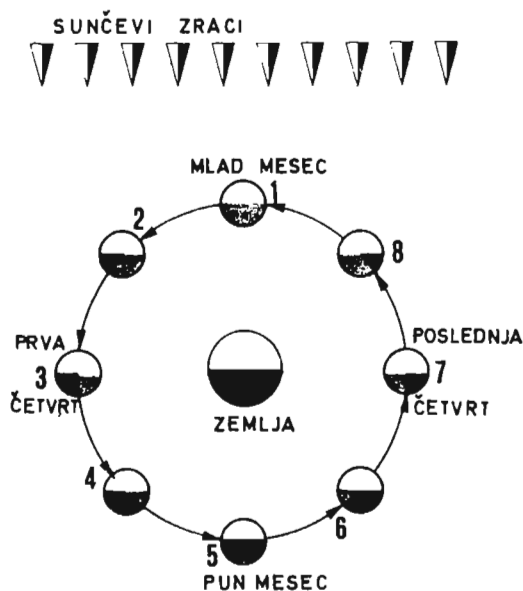
Slično Zemljinoj putanji oko Sunca, i Mesečeva eliptična putanja oko Zemlje ima, dakle, svoju veliku osu, ili apsidnu liniju. Njena temena su perigej i apogej Mesečeve putanje, ili tačke u kojima je on najbliži odnosno najdalji od Zemlje. Mesečeva eliptična putanja se, međjutim, znatno više razlikuje od kruga nego Zemljina.

Mesečevo kretanje oko Zemlje u direktnom smeru na ovoj putanji naziva se Mesečeva revolucija. Srednja brzina ovog kretanja je samo 1 km u sekundi, pa je tako oko 30 puta manja od srednje brzine kojom se Zemlja kreće oko Sunca, no ipak velika koliko brzina pušcanog metka pri izlazu iz cevi.

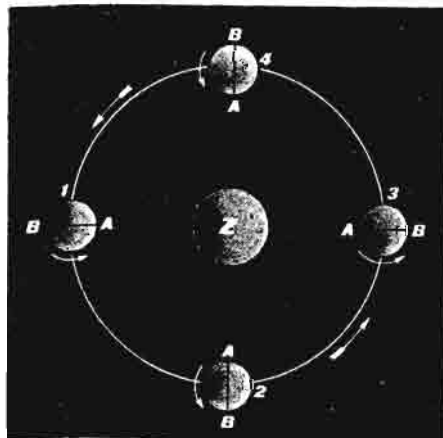
4.4. Mesečeva rotacija. Libracije.

Znamo da oblici Mesečeve površine (mora, planine, krateri ...) praktično ne menjaju svoj položaj na Mesečevom prividnom koturu. Ovo se može objasniti samo jednakošću trajanja njegovog obrtanja (rotacije) i obilaženja oko Zemlje (revolucije), što očigled-

no pokazuje (sl. 33). Kada se Mesec na svojoj putanji pomeri iz položaja 1 u 2 za četvrt kruga, ako za isto vreme izvrši i četvrtinu rotacije, tačka A na njegovoj površini, koja se nalazi na liniji Zemlja - Mesec ZA_1 ostaće u istom položaju na Mesečevom koturu, tj. nalaziće se sada na liniji ZA_2 , itd.



Sl. 32. Mesečeve mene

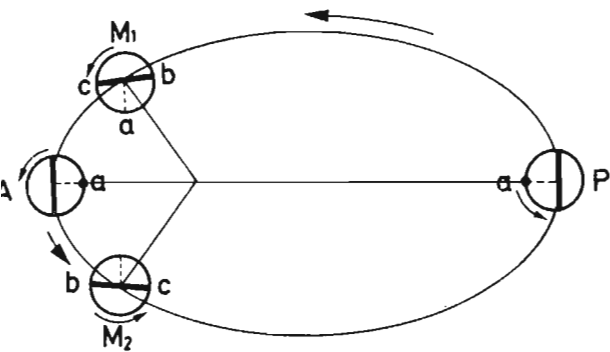


Sl. 33. Objašnjenje jednakog trajanja Mesečevog obrtanja i obilaženja oko Zemlje (rotacije i revolucije)

Uzrok jednakosti vremena rotacije i revolucije nalazi se u plimskom trenju. Još u ranim fazama Mesečeve evolucije Zemljina masa je svojim privlačenjem izazivala na njemu velika plimska ispupčenja i to kako na strani okrenutoj Zemlji, tako i na suprotnoj strani. Računi su pokazali da ovi plimski bregovi iznose oko 3 km ili 0,001 Mesečevog prečnika. Usled trenja medju Mesečevim deličima plimski bregovi se nisu mogli trenutno izdići, već su se izdizali postupno. Zato, dok je breg okrenut Zemlji uspeo da se uzdigne, ova tačka je, usled Mesečeve rotacije, već bila prošla liniju Zemlja - Mesec. Plimski bregovi se, dakle, nisu obrazovali na ovoj liniji, već nešto dalje od nje. Zato je Zemljina privlačna sila, delujući jače na bliži no na dalji plimski breg, težila da ih vrati na liniju Zemlja - Mesec nasuprot Mesečevom obrtanju. Izazvala je plimsko trenje i delovala kao kočnica Mesečeve rotacije sve dok se vremena rotacije i revolucije nisu medju sobom izjednačila, a Mesečevo izduženje, ili velika osa njegovog elipsoida,

nije ostala u pravcu Zemlje.

Pažljivim posmatranjem zapaža se da pojediniosti na Mesečevom koturu pomalo menjaju svoje položaje, a to na istočnoj to na zapadnoj njegovoj ivici pojavljuju se predeli koji su bili na njegovoj nevidljivoj strani. Izgleda nam kao da se Mesec pomalo klata. To je pojava Mesečeve libracije. Njih ima više, no mi ćemo se zadržati na dvema najvećim: libraciji u longitudi i libraciji u latitudi. Obe su prividne.



Sl. 34. Mesečeva libracija u longitudi

Zato u prvom slučaju vidimo i oblasti preko južnog pola, a u drugom i oblasti preko severnog pola.

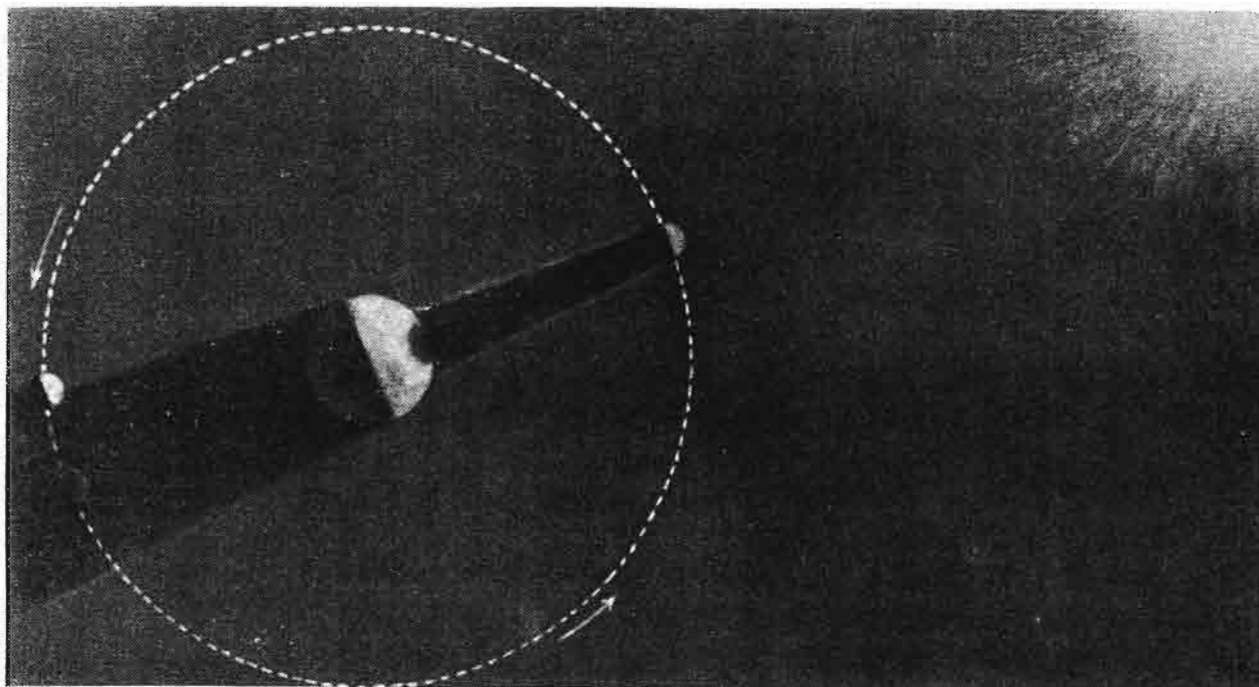
4.5. Mesečeva i Sunčeva pomračenja

Mesec i Zemlja, kao loptasta tamna tela obasjana Suncem, bacaju suprotno od Sunca senke konusnog oblika. Zemlja znatno veću i dužu no Mesec. Mesec, obilazeći oko Zemlje, može ući delimično ili potpuno u Zemljinu senku (sl. 35). U tim slučajevima nastupa delimično, odnosno potpuno Mesečevo pomračenje. Isto to se može dogoditi i sa satelitima ostalih planeta. Pojava je prava, jer Mesec tone u Zemljinu senku i sva mesta na Zemlji, za koja je tada Mesec iznad horizonta, vide u istom fizičkom trenutku Mesečevo pomračenje.

Mesec, obilazeći oko Zemlje, može doći u položaj da na Zemlju baca senku (sl. 35.). Za ona mesta na Zemlji koja su u tom

Libracija u longitudi dolazi otud što se Mesec obrće ravnomerno, a oko Zemlje ne obilazi po elipsi ravnomerno, već brže kad joj je bliži, a sporije kad je dalje od nje. Pojavu očigledno prikazuje sl. 34. (Objasni po-drobnije pojavu uz pomoć slike!).

Libracija u latitudi dolazi otud što je Mesečeva obrtna osovina nagnuta (za $83^{\circ}22'$) prema ravni njegove putanje, pa je u jednoj polovini meseca južni, a u drugoj severni Mesečev pol nagnut prema Zemlji.



Sl. 35. Mesečeva i Sunčeva pomračenja

trenutku u njegovoj senci nastupa Sunčevo pomračenje. Sunčevo pomračenje može biti isto tako delimično ili potpuno, no videćemo da ono može biti i prstenasto. Sunčevo pomračenje se može videti u određenim uslovima i sa drugih planeta oko kojih obilaze sateliti. Pomračenje Sunca je prividna pojava, jer Mesec postavljajući se između Zemlje i Sunca ne utapa Sunce u svoju senku, već ga samo svojim koturom prividno zaklanja, delimično ili u celini, za izvesna mesta na Zemlji.

Mesečeva pomračenja. Da bi nastupilo Mesečevo pomračenje, moraju biti ispunjena ova tri uslova: Mesec se mora nalaziti suprotno od Sunca (pun mesec). Dužina Zemljine senke mora da bude veća nego što je Mesečeva daljina. Mesečevo uglovno udaljenje od ekliptike mora da bude manje od poluprečnika Zemljine senke gde u nju ulazi Mesec.

Ako su ispunjeni uslovi za pomračenje, Mesec će na svojoj putanji oko Zemlje (sl. 35.) ući najpre u prostor tzv. Zemljine polusenke, koji je ograničen unutrašnjim zajedničkim tangentama Sunca i Zemlje.

Za vreme bavljenja u polusenci Mesec ne menja primetno

boju. Tek kad naidje na ivicu senke, njegova istočna ivica počinje da se "krnji" - počinje delimično pomračenje Meseca. Što više ulazi u Zemljinu senku, tamni deo Mesečevog kotura sve više se povećava i kad i njegova zapadna ivica dospe na ivicu senke, ceo kotur utone u nju. Tada počinje potpuno pomračenje Meseca. Ono traje obično oko $1^{\text{h}}30^{\text{m}}$. Zatim se istim redom događa Mesečev izlaz iz senke na njenoj suprotnoj ivici. Celo pomračenje, od prvog do poslednjeg dodira sa ivicom Zemljine senke, može trajati i oko 4^{h} .

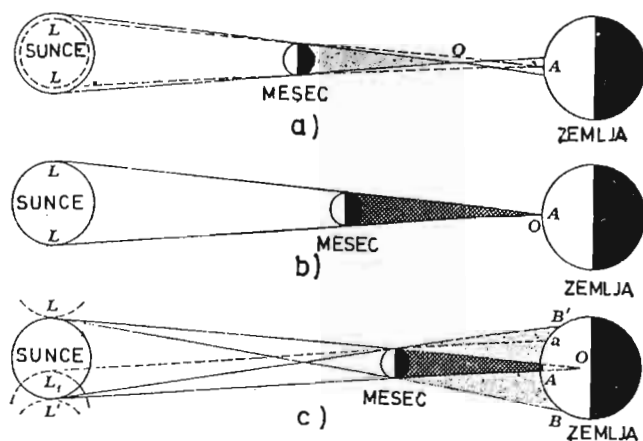
Za vreme potpunog pomračenja Mesec ima tamnu bakarnu boju zato što je osvetljen ivičnim zracima Sunca, koji se lome kroz Zemljinu atmosferu i delimično ulaze u prostor Zemljine senke. Boja je crvenkasta zbog prisustva sitnih kapljica vode i čestica prašine u Zemljinoj atmosferi, od kojih se plavi i drugi zraci kraće talasne dužine odbijaju, ali ih crveni zraci dužnih talasnih dužina mogu obići i dospeti u naše oko. Baš kao i u slučaju jutarnjeg i večernjeg rumenila neba. Dodajmo da se u toku godine ne mora dogoditi nijedno Mesečevo pomračenje, a može ih biti najviše tri.

Danas Mesečeva pomračenja služe najviše za ispitivanje gornjih slojeva Zemljine atmosfere.

Sunčeva pomračenja. Da bi nastupilo Sunčevo pomračenje, moraju biti ispunjena ova dva uslova: Mesec se mora nalaziti između Zemlje i Sunca (mlad mesec) i mora biti Mesečevo uglovno udaljenje od ravni ekliptike u tom trenutku manje od poluprečnika njegove senke.

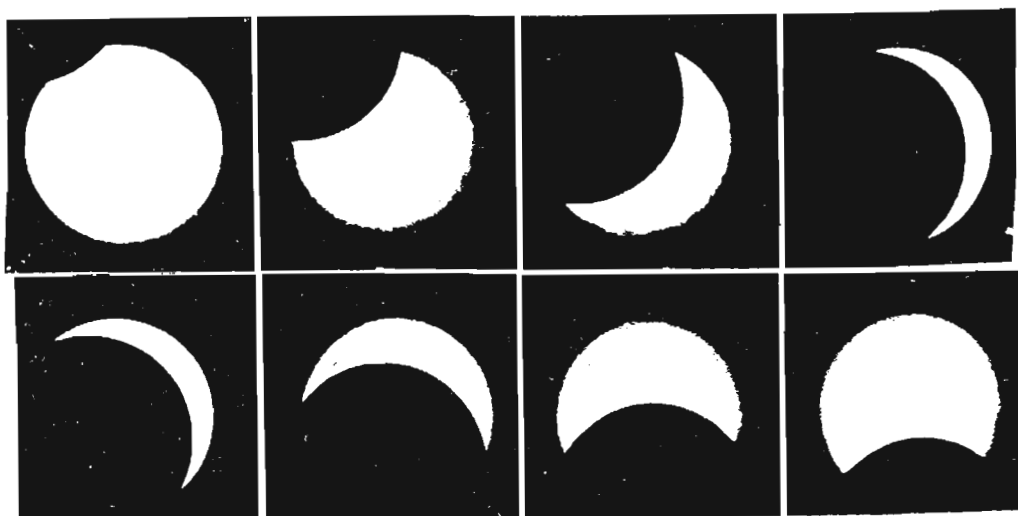
Dužina Mesečeve senke može biti manja, jednaka ili veća od Mesečeve daljine, zbog eliptičnosti Mesečeve putanje oko Zemlje. U prvom slučaju, kada Mesečeva senka ne dopire do Zemlje, Mesečev kotur ne može da pokrije celo Sunce, već samo njegov centralni deo, nastupa prstenasto pomračenje Sunca (sl. 36 a.). U drugom slučaju, kada Mesečeva senka samo dodiruje Zemlju (sl. 36 b.) vidi se potpuno pomračenje Sunca samo sa jedne linije na Zemlji koju opisuje po njoj vrh senke. U trećem slučaju (sl. 36 c.) Zemlja zaseca konus Mesečeve senke i potpuno pomračenje vidi se iz jedne male elipse na Zemljinoj površini koja u toku vremena, sa Mesečevim kretanjem, opisuje jedan pojas (pojas potpunog pomračenja)

koji na Zemlji ne prelazi nikad širinu od 260 km. Izvan ovoga pojasa sa površine koju pokriva Mesečeva polusenka (pojas širok do 400 km) vidi se delimično pomračenje Sunca.



Ako su svi uslovi za Sunčevo pomračenje ispunjeni i ako je ono u tom trenutku iznad horizonta, nailazak Mesečeve polusenke primetićemo jedva osetnim smanjenjem Sunčeve svetlosti. Prvi prividni dodir Mesečevog i Sunčevog kotura označava početak delimičnog pomračenja. Sunčev kotur se zatim na svom

Sl. 36. Tri vrste Sunčevih pomračenja zapadnom rubu sve više "krnji" (sl. 37.), jer tamni Mesečev kotur sve više zaklanja Sunce.



Sl. 37. Izgled Sunca u toku njegovog delimičnog pomračenja

Kad ga sasvim pokrije, počinje potpuno pomračenje: po Zemlji odjednom nastane suton, na nebu se pojave sjajne zvezde i planete, oko pokrivenog Sunčevog kotura zasiya crvenkasti prsten Sunčeve atmosfere (hromosfera) s džinovskim erupcijama (protuberancama),

a dalje oko Sunca blista sedefastim sjajem Sunčeva visoka atmosfera (korona). Potpuno pomračenje traje najviše 7^m , a najčešće do 2^m , pa se na istočnom rubu pojavi ponovo prvi Sunčev zrak. Sad se nastavlja delimično pomračenje. Pomračeni deo Sunčevog kotura sve više se smanjuje, pa se završi sa poslednjim prividnim dodirom Sunčevog i Mesečevog kotura. Tada se i delimično pomračenje završava. Dodajmo da u toku godine mora biti (za Zemlju kao celinu) najmanje dva pomračenja, a može ih biti i četiri.

Dok nisu upoznali mehanizam pomračenja, ljudi su se ovih pojava plašili i tumačili ih kao "zle predznake". Danas se Sunčeva pomračenja koriste za mnoge svrhe u nauci, na primer: za određivanje popravaka Mesečevih koordinata i elemenata njegove putanje, za izučavanje Sunčeve hromosfere i korone i dr.

4.6. Orijentacija na Zemlji, u prostoru i vremenu, pomoću Meseca

Videli smo da Mesec za oko 29,5 dana promeni sve svoje mene i za to vreme opiše po nebeskoj sferi veliki krug krećući se sa zapada na istok. Pri tom je u raznim menama na određenim uglovima odstojanjima od Sunca. Uski Mesečev srp, odmah posle mladine, pokazuje svojom ispupčenom stranom na zapad, gde je Sunce nedavno zašlo. Mesec u prvoj četvrti, kada mu je ispupčena strana okrenuta udesno, kulminuje rano s večeri i svojim položajem određuje pravac juga. Pun mesec izlazi uveče na istoku, kulminuje oko ponoći i zalazi ujutro na zapadu. Tada se po njemu možemo noću orijentisati kao danju po Suncu.

Mesečev izlaz, kulminacija i zalaz kasne iz dana u dan za blizu jedan čas. U poslednjoj četvrti osvetljena Mesečeva ivica okrenuta je ulevo. Tada Mesec izlazi oko ponoći, a kulminuje ujutro. Uski Mesečev srp sa ispupčenom stranom okrenutom ulevo vidi se neposredno pre Sunčeva izlaza i pokazuje istočnu stranu horizonta. Prema tome, ako smo jednog dana uočili Mesečev izgled i položaj na nebu, možemo unapred računati kada će biti noć sa mesečinom ili bez mesečine, što može biti od značaja za planiranje kretanja naročito na nepoznatom zemljištu.

(Popni se na kakvu visoku krovnu terasu ili proplanak van grada i isprobaj orijentaciju po Mesecu u prostoru i vremenu. Ponovi ovo nekoliko puta u raznim uslovima!).

Z a d a c i

1. Prva Mesečeva četvrt posmatrana je 25. decembra. Kolika je bila Mesečeva starost 25. decembra sledeće godine?
2. Vodeći računa o nagibu Mesečeve putanje prema ekliptici ($5^{\circ}9'$), odredi granice u kojima se menja Mesečeva deklinacija.
3. Vodeći računa o nagibu Mesečeve putanje ($5^{\circ}9'$), izračunaj najveću Mesečevu visinu iznad horizonta Beograda ($\varphi = 44^{\circ}48'$)
4. Uglovni (prividni) prečnik kratera Kopernik na Mesecu iznosi $40''$ a Mesečeva trenutna daljina od Zemlje 386000 km. Koliki je linijski prečnik tog kratera?
5. Potpuno Mesečevo pomračenje počelo je u Beogradu u $1^{\text{h}}44^{\text{m}}6''$ po mesnom srednjem vremenu. Kada to isto pomračenje počinje u Ljubljani po mesnom srednjem vremenu? Geografska dužina Ljubljane prema Beogradu je $1^{\circ}14'50''$ zapadno.
6. Ako se jedne godine dogodilo Mesečevo pomračenje u avgustu, može li se drugo Mesečevo pomračenje dogoditi u julu sledeće godine? Može li se dogoditi u oktobru iste godine, i ako ne može - zašto?
7. Godine 1959. bila su 2 Sunčeva i 2 Mesečeva pomračenja, i to: 13. marta Mesečevo delimično, 27. marta Sunčevo prstenasto, 5. septembra Mesečevo delimično i 21. septembra Sunčevo potpuno. Predvideti kada će se u najskorije vreme ova pomračenja ponoviti i izračunati kada su se već dogodjela, ako se zna da se posle perioda (Saros) od 18 god. i $10 \frac{1}{3}$ dana pomračenja ponavljaju istim redom.

P o s m a t r a n j a

1. Uz upotrebu malog astronomskeg durbina i džepnog časovnika, čiju si popravku odredio iz časovnih signala, pokušaj da odrediš trenutke jednog Mesečevog zalaza i izlaza i da ih uporediš sa predvidjenim trenucima.
2. Odredi preko dana gnomonom pravac podnevačke linije i pomoću dva viska materijalizuj ravan meridijana tog mesta. Odredi nekoliko večeri uzastopce trenutak Mesečevog prolaza kroz

meridijan i načini razlike ovih trenutaka. Šta se iz njih vidi?

3. Pokušaj da odrediš, pomoću malog astronomskeg durbi-
na i džepnog časovnika, čiju si popravku odredio iz časovnih sig-
nala, početak i svršetak dodira većih Mesečevih kratera sa Zemlji-
nom senkom.

4. Posmatraj u planetarijumu a) Mesečeve mene; b) Polo-
žaj Meseca nad horizontom mesta tog datuma, i v) Mesečevo kretanje
oko Zemlje.

GLAVA V

PRIVIDNO I PRAVO KRETANJE PLANETA

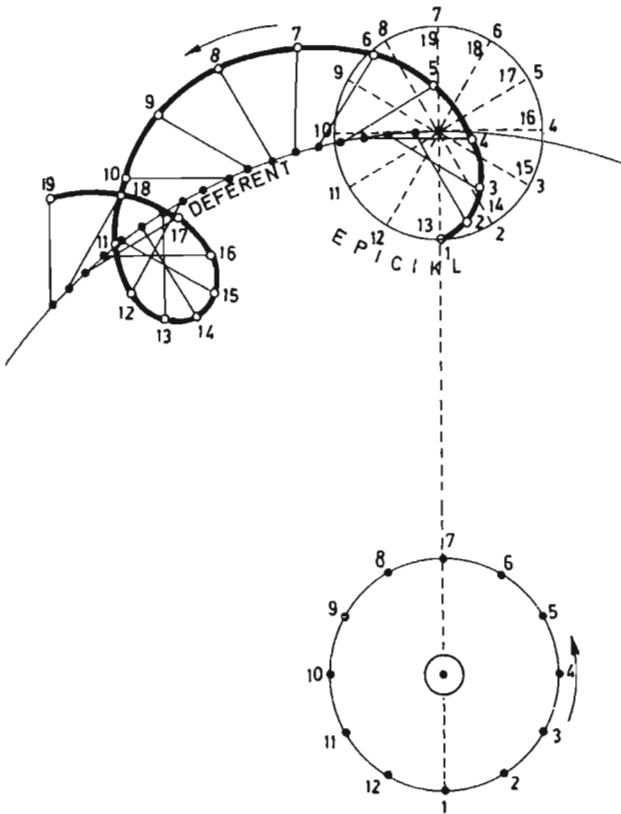
5.1. Prividno kretanje planeta. Geocentrični sistem

Još su prastari narodi primetili da se dve planete - Merkur i Venera - kreću tako što osciluju na istok i zapad od Sunca, a da se sve druge kreću sa zapada na istok - u direktnom smeru - povremeno zastanu i počnu da se vraćaju, da se kreću retrogradno, da bi ubrzo opet zastale i zatim produžile svoje redovno kretanje ka istoku. Na taj način one povremeno opisuju na nebeskoj sferi "petlje". Kasnije je utvrđeno da je ovo njihovo kretanje prividno, no u ta daleka vremena i astronomi su smatrali da je ovo njihovo pravo kretanje. Da bi to kretanje objasnili još su Aristotel, a zatim Hiparh, učili da ono dolazi otud što je Zemlja u središtu Vasiona (geocentrični sistem sveta), a da sva nebeska tela, pa i planete, obilaze oko nje.

Oko 130. g. Ptolemej daje, na osnovi učenja ranijih geocentričara, a naročito Aristotela, svoj poznati geocentrični sistem sveta, koji je četrnaest narednih vekova vladao čovekovim pogledom na svet. Ovaj sistem sadrži 3 osnovna principa, a to su: geocentričnost, kružnost i ravnomernost kretanja tela u njemu. U ovom sistemu Zemljina lopta lebdi nepomično u središtu Vasiona - zajedničkom za 8 kristalnih sfera, sve većih što su dalje od Zemlje. Te su sfere: Mesečeva, Merkurova, Venerina, Sunčeva, Marsova, Jupiterova, Saturnova i, najzad, sfera zvezda. Njih 8 učestvuju zajedno, kao jedna, u ravnomernom obrtanju oko Zemlje sa istoka na zapad. (Nacrtaj!).

Da bi objasnio kretanje planeta po petljama, Ptolemej je pretpostavio da se svaka planeta kreće po malom krugu nazvanom epicikl, dok se u isto vreme središte tog kruga kreće po krugu većeg poluprečnika (deferentu) oko Zemlje. Slaganje ova dva kretanja, koja se obavljaju u različitim ravnima, daje pri posmatra-

nju sa Zemlje kretanje planeta po petljama, čas napred, čas nazad (sl. 38.).



Sl. 38. Ptolemejevo objašnjenje prividnih epicikličnih putanja planeta

Ptolemejeve predstave o kretanju planeta bile su pogrešne, ali su omogućavale da se izračunaju položaji planeta na nebu i zato su bile korisne. Međutim, ovako računati položaji planeta sve su se više razilazili od posmatranih (merenih) položaja, pa su kasniji geocentričari uvodili sve nove i nove epicikle da bi uskladili izračunate sa posmatranim položajima planeta. U XV veku broj epicikala beše toliko narastao da se počelo ozbiljno sumnjati da je kretanje planeta toliko složeno.

5.2. Pravo kretanje planeta Kopernikov heliocentri-

čni sistem

U doba Renesanse stari grčki spisi stigli su, posredstvom Arapa, i do Srednje Evrope, gde su prevedeni na evropske jezike, tako da je time počeo da vaskrsava pogled na svet aleksandrijskog astronoma Aristarha, koji je bio heliocentričar i još u III veku pre n.e. smatrao da se sva nebeska tela kreću oko Sunca koje je u središtu Vasione.

Nikola Kopernik (1473.-1543.) (sl. 39.) u svom delu "O kruženjima nebeskih tela" izlaže osnove svog heliocentričnog sistema sveta, koji s malim izmenama važi i danas.

Ne raspolažući nijednom više činjenicom nego što su raspolagali njegovi prethodnici - geocentričari, naslućuje u jednostavnosti heliocentričnog sistema njegovu istinitost i njegovu neminovnost prihvata kao svoje uverenje, dajući samo posredne dokaze.

Kopernikov sistem je zasnovan na sledećim osnovnim stavovima:

1. Vasiona je, kao i Zemlja, sfernog oblika.
2. Kretanja nebeskih tela su sva ravnomerna, kružna (ili složena iz kružnih) i neprekidna (večna).
3. Sva se kružna kretanja obavljaju oko Sunca, koje je središte sviju njih, samo se Mesec kreće ravnomerno po krugu oko Zemlje.
4. Daljina Zemlje od Sunca zanemarljiva je prema poluprečniku Vasiona.
5. Prividno kretanje Vasiona posledica je Zemljinog obrtanja oko njene nepromenljive ose.
6. Prividno Sunčevo kretanje je posledica Zemljinog pravog kretanja oko Sunca koje svaka planeta obavlja.
7. Prividna "lutanja" planeta po petljama posledica su Zemljinog kretanja kojim se i objašnjavaju sva prividna kretanja nebeskih tela. (Nacrtaj heliocentrični sistem na osnovi tačke 3!).

Novi su i bitno različiti u odnosu na Ptolemejev sistem stavovi: 3.- kojim se Sunce stavlja u središte sistema i time sistem postaje heliocentričan, 5.- gde uvodi Zemljinu rotaciju, 6.- gde uvodi Zemljinu revoluciju i 7.- koji je posledica prethodnih. Ovi stavovi bili su poznati još Aristarhu, ali je Kopernikova zasluga u tome što je on, u doba kada je Ptolemejev sistem bio neprikosnoven, imao smelosti da Sunce stavi u središte Vasiona, a Zemlju uputi na njenu planetsku putanju oko Sunca, da "zaustavi Sunce i pokrene Zemlju".

Planete, na osnovi stavova Kopernikove teorije heliocentričnog kretanja Zemlje i ostalih planeta, ne samo da obilaze oko Sunca, već u njihovom pravom kretanju nema ni zastoja, ni retrogradnih kretanja (petlji), što je i potvrđeno. Zastoje i retrogradna kretanja planeta Kopernik je objasnio slaganjem Zemljinog kretanja sa kretanjem svake planete oko Sunca. Kako periodi obilaženja Zemlje i drugih planeta nisu jednaki, događa se da Zemlja, na pr., prestigne planetu i tada se planeta prividno pomera na zapad, retrogradno u odnosu na zvezde (paralaktičko kretanje planeta). Međutim, u drugo vreme njihova kretanja se po smeru slažu, pa se onda



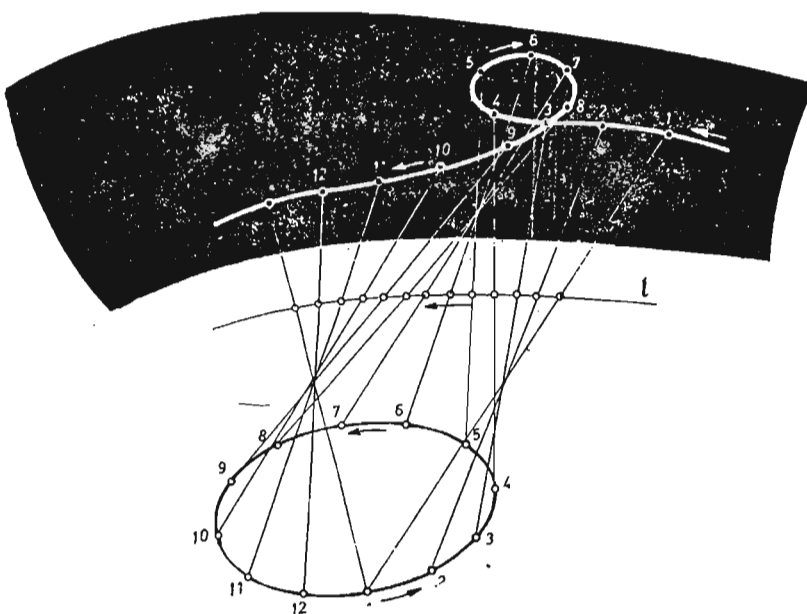
Sl. 39. Nikola Kopernik

planeta u unutrašnjosti Zemljine putanje oko Sunca, dok putanje drugih obuhvataju Zemljinu putanju.

planeta kreće prema istoku (sl. 40.). Strelice na slici pokazuju smer obilaženja Zemlje i planete koja je dalja od Sunca nego Zemlja i kreće se sporije.

Iz veličina petlji na prividnim putanjama Kopernik je izračunao relativne daljine planeta od Sunca. Tako dobivene vrednosti slažu se dobro sa današnjim.

Razlika između prividnog kretanja unutrašnjih i spoljašnjih planeta objašnjava se time što su putanje prvih pla-

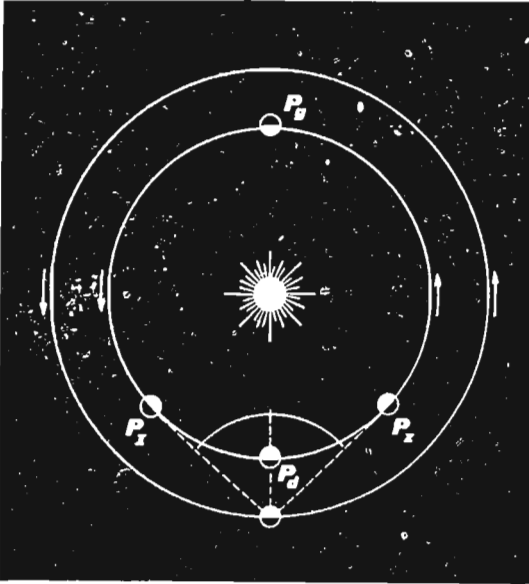


Sl. 40. Kopernikovo objašnjenje oblika prividnih putanja planeta

U prvom položaju planeta je najbliže Zemlji, u drugom najdalje od nje, ali u oba slučaja ne možemo posmatrati planetu, jer se gubi

Posmatrajući i analizirajući kretanje unutrašnjih planeta (sl. 41.) vidimo da se ugao između pravca sa Zemlje ka planeti i sa Zemlje ka Suncu menja ne prelazeći 29° za Merkur, a za Veneru 48° . Unutrašnja planeta se može nalaziti ili ispred Sunca u tački P_d - donja konjunkcija, ili iza Sunca, u tački P_g - gornja konjunkcija.

u Sunčevim zracima. Unutrašnje planete se mogu posmatrati samo oko istočne ili zapadne elongacije - tačka P_I ili P_Z - i to u prvom slučaju rano uveče, na zapadu posle Sunčevog zalaza, a u drugom pred izlaz Sunca, na istoku.



Sl. 41. Razni položaji unutrašnje planete prema Zemlji i Suncu

u odnosu na Zemlju naziva se opozicija.

5.3. Galilejeva otkrića. Borba crkve protiv nauke

Kopernikove ideje su bile nove, a i neobične, jer su se kosile sa shvatanjima o gradnji Vasiona i ulozi Zemlje u njoj. Ovo učenje sukobljavalo se sa postojećim pojmovima i teorijama koje je zastupala crkva, koja je u to vreme bila apsolutni gospodar svih društvenih odnosa. Knjigu u kojoj izlaže svoje heliocentrično učenje Kopernik štampa tek pred kraj života, i to na navaljivanje svojih prijatelja, koji su smatrali da su ta otkrića dostojna pažnje i da ih treba objaviti. U prvo vreme katolička crkva ne shvata sadržinu datu u toj knjizi, već odobrava da se ona štampa. Tek 1616. g. crkva knjigu zabranjuje, pa čak i spaljuje i unosi je u spisak knjiga koje vernici ne smeju čitati.

Kopernikovo učenje je izazvalo bujicu novih misli, oslobođenih verskog pritiska. Postalo je najzad razumljivo da se van

Zbog svog naročitog položaja i kretanja u odnosu na Zemlju i zbog toga što svetle samo odbijenom svetlošću - Merkur i Venera pokazuju mene (faze). Njih je nešto kasnije otkrio Galilej.

Kod spoljašnjih planeta faze su znatno manje izražene. Te su planete najpodesnije za posmatranje u tački kada se vide suprotno od Sunca, jer su tada najbliže Zemlji i dobro se vide teleskopom. (Nacrtaj sliku!). U to vreme one kulminuju u ponoć i vidljive su preko cele noći. Taj položaj planete suprotan Suncu

Zemljinih predela nalazi beskrajna Vasiona u kojoj, možda, postoje i drugi svetovi naseljeni živim, pa i razumnim bićima. Takve je poglede, posle Kopernikove smrti, počeo izlagati filosof Djordano Bruno, koji je bio veliki protivnik crkve i njenog kosmološkog učenja. Zbog toga je 1600. g. spaljen živ na lomači.

Galileo Galilej (1564.-1642.) poznati naučnik toga doba (sl. 42.), učinio je mnoga otkrića u fizici, a borbu za Kopernikov sistem vodio je prikupljanjem činjenica i dokaza. Kada je saznao da su Holandjani konstruisali durbin, 1609. g. konstruiše i on svojom rukom takav instrument i počinje prvi da ga koristi za posmatranje neba. Otkriva da na Mesecu postoje planine, što je potvrdjivalo da ima i drugih nebeskih tela sličnih Zemlji. Zatim otkriva 4 Jupiterova satelita koji oko planete kruže slično kao Mesec oko Zemlje, pa Venerine mene koje govore da je i ona loptasta, da svetli odbijenom Sunčevom svetlošću i da obilazi oko Sunca a ne oko Zemlje. Posmatrajući Saturn zapazio je da su uz planetu "zakačene" dve zvezdice - tako se video Saturnov prsten njegovim malim teleskopom. Sunčeve pege su mu pomogle da otkrije da se i Sunce obrće oko svoje ose. Video je, najzad, da se Mlečni put sastoji iz ogromnog mnoštva slabih (veoma udaljenih) zvezda, što je značilo da je Vasiona daleko veća no što se dotle mislilo.



Sl. 42. Galileo Galilej

Posle svih ovih otkrića bilo je još manje verovatno učenje crkve da se ogromna Vasiona za jedan dan obrne oko malene Zemlje. Svoje učenje o tome Galilej je izložio u knjizi "Dijalog", gde je ne samo branio Kopernikovo učenje, već je ismevao učenje o nepokretnosti Zemlje. Zbog toga mu je knjiga zabranjena, a od njega je tražila rimska inkvizicija da opozove svoje učenje, što je pod velikim pritiscima i učinio, ali je dobro znao da su sva

sredstva inkvizicije nemoćna da zaustave Zemlju u njenom kretanju.

Ostatak života Galilej je proveo u zatočeništvu, gde je i dalje radio na nauci, ali svoje poslednje radove nije završio jer ga je pretekla smrt. Galilej je, prisiljen, opozvao svoju nauku o kretanju Zemlje, ali je svojim otkrićima stvorio vrlo ubojito oružje za njenu konačnu pobeđu.

5.4. Siderička i sinodička revolucija

Prema napred rečenom jasno je da kod planeta (kao i kod Meseca) treba razlikovati sideričku od sinodičke revolucije.

Siderička revolucija je vreme obilaska planete po nje-
noj putanji oko Sunca, dok je sinodička revolucija vremenski raz-
mak između dve uzastopne istoimene konjunkcije ili dve uzastopne
opozicije planete, kao njenih položaja prema Zemlji. Sinodička re-
volucija planete zato ne zavisi samo od njene sideričke revolucije,
već i od Zemljine. Obeležimo li sideričku revoluciju planete sa T ,
sinodičku sa S i Zemljinu sideričku revoluciju (tzv. sideričku go-
dinu) sa E , možemo naći vezu između ove 3 veličine. I doista, deo
sinodičke revolucije donje planete, koji odgovara jednom danu, ni-
je ništa drugo do razlika između jednodnevnog uglovnog pomeranja
planete i Zemlje. S obzirom da uglovno pomeranje koje odgovara pu-
nom periodu iznosi 360° , to možemo napisati:

$$\frac{360}{T} - \frac{360}{E} = \frac{360}{S}. \text{ Odatle je } \frac{1}{T} - \frac{1}{E} = \frac{1}{S}.$$

Ova se veza naziva jednačina sinodičkog kretanja za donju planetu.

Za gornju planetu sličnim razmišljanjem dobivamo za
jednačinu sinodičkog kretanja

$$\frac{1}{E} - \frac{1}{T} = \frac{1}{S}.$$

Kad su 2 veličine, koje ulaze u ove dve jednačine, date ili poz-
nate (iz merenja), može se treća iz njih izračunati. To omogućuje
rešavanje mnogih zadataka. Podaci o sederičkim i sinodičkim revo-
lucijama planeta dati su u 8.4.

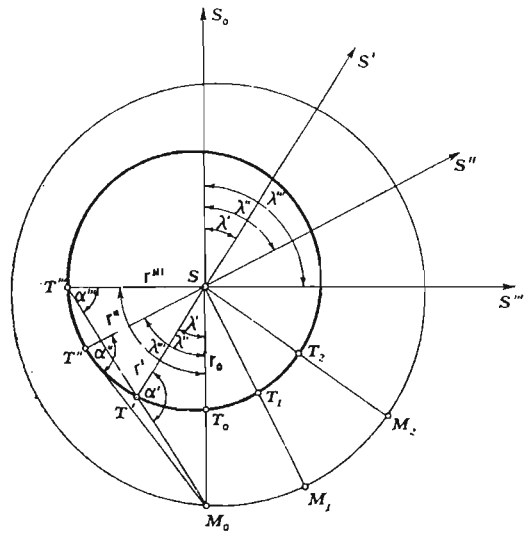
5.5. Keplerovi zakoni pravog kretanja planeta izvedeni iz posma- tranja

Veliki danski astronom Tiho Brahe izvršio je krajem

XVI veka velik broj odredjivanja položaja Sunca, Meseca i planeta, a naročito Marsa, i to sa dotle nedostignutom tačnošću od $1'$. Njegov mladi saradnik Johan Kepler (1571.-1630.) (sl. 43.), koji je od njega nasledio ovaj posmatrački materijal, istraživao je 18 godina da bi otkrio zakone kretanja planeta, pa i Zemlje, polazeći od pretpostavke da se ona vrše po Kopernikovoj teoriji i svoja ispitivanja započeo na Marsovoj putanji koja je vrlo malo nagnuta prema ravni ekliptike, pa je smeo pretpostaviti da se ove dve ravni poklapaju (sl. 44.).



Sl. 43. Johan Kepler



Sl. 44. Izvodjenje prvog Keplerovog zakona

Izvodjenje prvog Keplerovog zakona . Da bismo prikazali kako je Kepler iz posmatranja izveo svoje znamenite zakone kretanja planeta, uočimo u jednoj ravni Zemljinu i Marsovu putanju oko Sunca S sa njihovim polaznim položajima T_0 i M_0 u jednoj Marsovoj opoziciji sa Suncem. Zemlja se, kao što posmatranja pokazuju, kreće brže od Marsa, te dok on obidje svoju putanju i vrati se u tačku M_0 , Zemlja svoju obidje skoro dvaput i dodje u položaj T' . Iz istog razloga posle narednog Marsovog povratka u M_0 Zemlja će stići u T'' , posle još jednog u T''' itd. Uglovima $\alpha', \alpha'', \alpha'''$ Kepler je raspolagao, jer oni nisu ništa drugo do razlike geocentričnih longituda Sunca i Marsa, koje se mogu izračunati iz posmatranih rektascenzija i deklinacija. Uglovi, pak, $\lambda', \lambda'', \lambda'''$ bili su mu takodje poznati iz merenja, jer oni, kao što se i sa slike vidi,

nisu ništa drugo do razlike geocentričnih posmatranih Sunčevih longituda, određjenih iz Zemljinih položaja T_0 i T' , odnosno T_0 i T'' , itd. Kepler je zato mogao iz ovih uglova da izračuna strane r_0 , r' , r'' , odnosnih trouglova, koje nisu ništa drugo do radijus-vektori Zemlja-Sunce u funkciji jedne srednje Zemljine daljine r od Sunca. Radijus-vektorima r_0 , r' , r'' , ... i centralnim uglovi-
ma λ λ' λ'' ... mogao je konstruisati, u izvesnoj razmeri, Zemljinu putanju oko Sunca i ispitati njen geometrijski oblik. Pošto je to učinjeno i za Marsovu putanju, mogao je odrediti i njen oblik, a daljine Marsa izraziti srednjom Zemljinom daljinom od Sunca. Učinjeno je to malo kasnije i za druge planete. Tako je Kepler došao do svog prvog zakona kretanja planeta: Planete opisuju oko Sunca elipse u čijoj je jednoj zajedničkoj žiži Sunce. Matematički se on izražava polarnom jednačinom elipse:

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

gde je r radijus-vektor planeta - Sunce, v njena prava anomalija tj. polarni ugao računat od perihela, p parametar elipse, a e njena ekscentričnost.

Izvodjenje drugog Keplerovog zakona. Posle dugogodišnjih pokušaja i posle mnogih napora Kepler je, isto tako, utvrdio pravilnost prikazanu za Zemlju donjom tablicom, gde oznake r i $\Delta\lambda$ imaju ranije značenje.

Datum	r^2	$r^2 \Delta\lambda$	Nepromenljivost izrazar ² $\Delta\lambda$ Kepler je formulisao u vidu svog <u>drugog zakona: Radijus-vektor Sunce-planeta opisuje u jednakim vremenskim razmacima jednake površine</u> . On pokazuje kako se planete, pa i Zemlja, kreću po svojim putanjama oko Sunca. Danas se predstavlja izrazom:
2.I	0,9669	3548	$\frac{1}{2} r^2 \frac{dv}{dt} = c,$ gde r i v imaju ranije značenje. U njemu je $1/2 r^2 dv$ površina beskonačno uskog sektora između dva radijus-vektora i luka elipse, a $1/2 r^2 dv/dt$ tzv. <u>sektorska brzina</u> Zemljinog, odnosno planetskog kretanja po elipsi
2.II	0,9710	3547	
2.III	0,9821	3547	
2.IV	0,9490	3547	
2.V	1,0157	3548	
2.VI	1,0287	3548	
2.VII	1,0377	3548	
2.VIII	1,0300	3547	
2.IX	1,0181	3547	
2.X	1,0018	3547	
2.XI	0,9847	3547	
2.XII	0,9720	3547	

oko Sunca, koja je po ovom zakonu stalna. Oba zakona Kepler je objavio u svom znamenitom delu "Nova astronomija" 1609. g. Danas znamo da je stalnost sektorske brzine posledica zakona održanja momenta impulsa.

Izvodjenje trećeg Keplerovog zakona. Još dugo godina potom Kepler je vršio dalje pokušaje da pronadje zajedničku zakonitost koja povezuje medju sobom kretanja svih planeta oko Sunca, a koju je on naslućivao i nazvao "harmonijom sveta". Najzad je došao do odnosa prikazanog u donjoj tablici za sve onda poznate planete, u kojoj je a velika poluosa putanje, izražena srednjom daljinom Zemlja - Sunce kao jedinicom, a T vreme obilaženja, izraženo vremenom Zemljinog obilaženja oko Sunca kao jedinicom.

	Merkur	Venera	Zemlja	Mars	Jupiter	Saturn
a	0,387	0,723	1	1,524	5,203	9,539
T	0,241	0,615	1	1,881	11,860	29,460
a/T	1,607	1,176	1	0,810	0,439	0,324
a^2/T	0,662	0,850	1	1,235	2,282	3,088
a^3/T^2	1,000	1,000	1	1,000	1,001	1,000

Nepromenljivost izraza a^3/T^2 izrazio je Kepler u vidu svog trećeg zakona: Kvadrati vremena obilaženja planeta oko Sunca srazmerni su kubovima velikih poluosa njihovih putanja. On se i danas predstavlja izrazom

$$a^3 / T^2 = k,$$

gde je k jedan isti broj za sve planete. Kasnije se pokazalo da ovaj zakon važi i za sisteme satelita svake planete, samo je za svaki sistem konstanta k druga. Ovaj zakon Kepler je saopštio u svom delu "Harmonija sveta" 1619. g.

Vremena obilaženja planeta oko Sunca mogu se odrediti iz posmatranja. Tada treći Keplerov zakon napisan u obliku

$$\frac{a_1^3}{T_1^2} = \frac{a_2^3}{T_2^2} = \dots = \frac{a_n^3}{T_n^2} = k$$

omogućuje da lako izračunamo relativne daljine svih planeta od Sunca izražene srednjom daljinom Zemlja - Sunce.

Keplerovi zakoni udarili su temelje teorijskoj astronomiji, koja je kasnije omogućila da se iz posmatranih položaja jedne

planete, komete ili satelita izračuna njihova putanja i obratno, da se iz poznatih elemenata putanje izračuna efemerida posmatranog nebeskog tela, tj. niz njegovih položaja na nebeskoj sferi u po volji odabranim trenucima prošlosti ili budućnosti.

Kasnije je treći Keplerov zakon izveden u još opštijem obliku:

$$\frac{a_1^3}{T_1^2(M+m_1)} = \frac{a_2^3}{T_2^2(M+m_2)} = \dots = \frac{a_n^3}{T_n^2(M+m_n)} = k,$$

gde je M masa Sunca a m_1, m_2, \dots, m_n mase planeta. On je omogućio da se određuju mase nebeskih tela.

5.6. Elementi planetskih putanja

Da bi se poznavalo kretanje planete i ono moglo pratiti, potrebno je umeti izračunati njen položaj u svakom trenutku (efemerida). No da bi se ovo postiglo, mora se prvo poznavati putanja (orbit) planete.

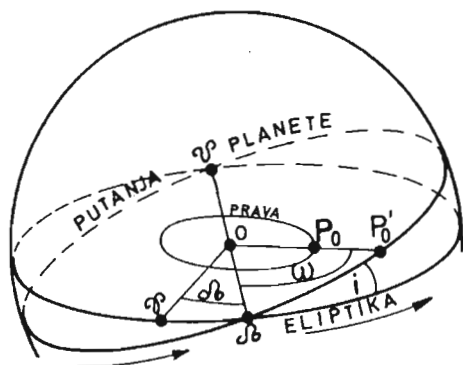
Eliptična putanja planete biće poznata ako poznajemo, pre svega, položaj njene ravni, zatim položaj same putanje u toj ravni, zatim dimenzije i oblik putanje i najzad, ako možemo izračunati gde se planeta nalazi u svakom trenutku na svojoj putanji. Za ovo je potrebno 6 parametara koji se nazivaju elementi planetske putanje.

Ravan planetine putanje oko Sunca zaklapa sa ekliptikom izvestan ugao i (sl. 45.) koji se naziva načib ravni planetske putanje. Ova ravan seče ravan ekliptike duž prave koja se naziva linija čvorova planetske putanje. Ona probija nebesku sferu u dvema tačkama, koje se nazivaju čvorovi planetske putanje. Onaj čvor kroz koji planeta prolazi kad sa južne prelazi na severnu nebesku polusferu naziva se uzlazni čvor (δ). Drugi se naziva silazni čvor (γ). Ugao koji zaklapa pravac sa Sunca ka uzlaznom čvoru sa pravcem ka γ tački naziva se longituda uzlaznog čvora (δ). Elementima i i δ određen je položaj ravni planetine putanje u odnosu na ekliptiku.

Položaj same putanje u njenoj ravni određuje se uglom koji zaklapa pravac od Sunca ka perihelu (P_0) planete sa pravcem ka uzlaznom čvoru i naziva se longituda perihela na putanji.

Dimenzije eliptične putanje određuju se njenom velikom

poluosom (a), a njen oblik ekscentričnošću elipse (e).



Sl. 45. Elementi planetske putanje



Sl. 46. Isak Njutn

Da bi se još mogao odrediti položaj planete na putanji mora se znati trenutak (t_0) njenog prolaza kroz perihel P_0 .

Elementi planetske putanje mogu se izračunati iz najmanje 3 posmatrana (dovoljno razmaknuta) položaja planete metodama koje (zbog svoje složenosti) prelaze okvire ovog udžbenika.

5.7. Njutnov zakon gravitacije izveden iz Keplerovih zakona

Hajgens je 1673. god. u svom delu "Časovnik s klatnom" prvi put ukazao da materijalna tačka, koja se ma i ravnomerno kreće po krugu, ima ubrzanje W upereno ka središtu kruga, koje je nazvao centripetalnim ubrzanjem, i zbog njega upravo telo i skreće s pravolinijske na krivolinijsku putanju. Našao je da je ovo ubrzanje upravno srazmerno kvadratu linijske brzine v kretanja tačke a obrnuto srazmerno poluprečniku r kružne putanje, tj. da je :

$$W = v^2/r.$$

Ubrzo posle toga Ren, Huk i Halej su, nezavisno jedan od drugog, primenili ovu teoremu na kretanje planeta, pa i Zemlje, pod pretpostavkom da su njihove putanje kružne. Po toj pretpostavci je:

$$v = 2\pi r / T.$$

gde je r poluprečnik putanje, a T vreme planetinog obilaska putanje oko Sunca, pa su za njihovo centripetalno ubrzanje našli izraz:

$$w = 4\pi^2 r / T^2.$$

Koristeći, dalje, treći Keplerov zakon, iz koga je:

$$r / T^2 = K / r^2,$$

oni su došli do izraza za centripetalno ubrzanje planeta:

$$w = 4\pi^2 k / r^2,$$

koji kazuje da svaka planeta u svakom svom položaju ima ubrzanje upereno prema Suncu, a obrnuto srazmerno kvadratu njene daljine od Sunca.

U svom besmrtnom delu "Matematički principi prirodne filosofije" (1687. god.) Njutn (1642.-1727.) (sl. 46.) je dokazao, polazeći od Keplerovih zakona, da ovaj zakon važi i za eliptične putanje planeta. No on je pošao još jedan korak dalje u težnji da ispita prirodu sile koja izaziva ovo ubrzanje. Pretpostavio je da ista sila izaziva slobodno padanje tela na Zemljinoj površini i Mesečevo centripetalno ubrzanje na njegovoj putanji oko Zemlje. Da bi ovo dokazao, izračunao je, s jedne strane, ubrzanje slobodnog padanja na Mesečevoj daljini od Zemlje, a s druge strane, centripetalno Mesečevo ubrzanje na njegovoj putanji oko Zemlje, i tako dokazao da su ova dva ubrzanja identična:

$$g_1 = w,$$

čime je Njutn potvrdio svoju pretpostavku.

Uvidevši da isto telo ima različito ubrzanje, tj. da ima različitu težinu na raznim daljinama od Zemljinog težišta, iako mu se pri tom količina materije ne menja, Njutn je uzeo za količinu materije pojam mase m i ovaj pojam razdvojio od pojma težine P , kao sile kojom Zemlja privlači tu masu. Težinu, odnosno silu, definisao je kao proizvod mase i ubrzanja, kao što i eksperimenti pokazuju, i tako došao do svog znamenitog principa nezavisnosti dejstva sile:

$$P = mw$$

ili drugog osnovnog principa mehanike, a odmah zatim i do trećeg osnovnog principa mehanike - principa akcije i reakcije. Sada je mogao naći izraz za silu kojom Sunce primorava planete da obilaze oko njega.

Množenjem izraza za centripetalno ubrzanje planete njenom masom m našao je za tu silu izraz:

$$4\pi^2 K m / r^2$$

Ali, prema principu akcije i reakcije, mora i planeta privlačiti Sunce silom iste jačine a suprotnog smera. Ta sila je proizvod mase Sunca M i njegovog ubrzanja. Zato ako uvedemo jednu novu veličinu f , definisanu smenom:

$$f = 4\pi^2 K / M$$

ili smenom:

$$f = 4\pi^2 r^3 / T^2 M$$

s obzirom na već navedenu vrednost za konstantu k , koja je ista za sve planete i poznata iz trećeg Keplerovog zakona, onda izraz za P dobija oblik:

$$P = f \frac{Mm}{r^2}$$

Koeficijent proporcionalnosti f isti je i za Mesec i za Zemlju; dakle, to je konstanta koja izražava jednu opštu osobinu materije u celom Sunčevom sistemu.

Uvidevši ovo, Njutn je ovaj zakon uzajamnog privlačenja Sunca i planeta proširio i na svaka dva delića materije u vasioni, čije su mase m_1 i m_2 a međusobno rastojanje r i tako došao do najopštijeg prirodnog zakona, zakona opšte gravitacije:

$$F = f \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

tj. svaka dva delića materije u vasioni uzajamno se privlače silom srazmernom proizvodu njihovih masa, a obrnuto srazmerno kvadratu njihovog rastojanja.

Pri tom je f univerzalna konstanta. Ovaj zakon potvrdila su i sva kasnija iskustva i iz njega se javila jedna nova nauka - nebeska mehanika.

I tela na samoj Zemlji uzajamno se privlače po ovom zakonu, samo je ova sila zanemarljiva prema onoj kojom ih privlači Zemlja; veoma osetljivim ogledima (Kevndiš i dr.) ova sila je ipak potvrđjena.

5.8. Problem dvaju i više tela

Posle izvodjenja zakona gravitacije iz Keplerovih zakona Njutn je rešio i obrnut problem - izveo je Keplerove zakone teorijski (matematički) iz zakona gravitacije. Pri tom je prvi, a delimično i drugi, izveo u opštijem, a treći i u tačnijem obliku. U tu svrhu on je pretpostavio da se planete kreću samo pod gravitacijskim uticajem Sunca (problem dvaju tela) i zanemario medjusobne gravitacijske uticaje planeta i pretpostavio da su mase planeta koncentrisane u njihovim težištima. Ovaj problem rešava se metodama više matematike.

No ubrzo je primećeno da se ovako izračunati položaji planeta (efemeride) tokom vremena sve više razilaze od posmatranih (izmerenih) položaja. Uvidelo se da su ovome uzrok zanemareni gravitacijski uticaji ostalih planeta na uočenu, pa su potražene metode da se reši najpre problem kako će se kretati 3 tela pod medjusobnim gravitacijskim uticajem (problem triju tela). No već pri njegovom rešavanju naišlo se na takve matematičke teškoće da on ni danas nije u opštem slučaju rešen na način podesan za praktično računanje. Ove su teškoće nesrazmerno rasle kada se povećao broj tela (problem više tela), tako da je danas ovaj put rešavanja tog problema napušten. No praktično i dovoljno tačno rešenje nadjeno je u složenome računu poremećaja (perturbacija), koji se sastoji u ovome.

Zahvaljujući srećnoj okolnosti planetske se putanje malo razlikuju od krugova, uz to leže približno u istoj ravni. Sem toga mase svih planeta zajedno neuporedivo su manje od Sunčeve, a njihove daljine od Sunca su neuporedivo veće od njihovih dimenzija. Zbog svega toga svaka planeta u svom kretanju oko Sunca odstupa samo neznatno od Keplerove elipse. Zato se gravitacijski uticaji ostalih planeta na uočenu mogu smatrati samo kao mali poremećaji Keplerovog kretanja i računati dovoljno tačno za svaki željeni trenutak u vidu popravaka ovog kretanja.

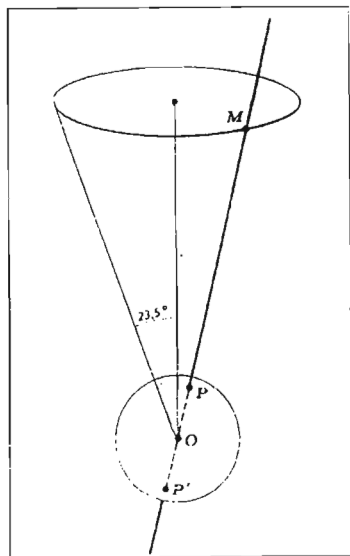
5.9. Precesija i nutacija

Posle otkrića zakona gravitacije mnoge su pojave objašnjene kao njegove posledice: kretanje planeta i njihovih satelita, kretanje kometa, meteorskih rojeva i meteora, poremećaji u njihovim kretanjima usled gravitacionog dejstva drugih tela (čak su obračunavanjem ovih poremećaja otkrivene i dve nove planete - Neptun i Pluton), zatim Zemljina spljoštenost i dr. Zakonom gravitacije objašnjeno je kretanje dvojnih i višestrukih zvezda. No naročito je značajno objašnjenje koje je on dao za Zemljino precesiono i nutaciono kretanje i za plimu i oseku Zemljinih mora i okeana, Zemljine atmosfere i njene kore. Zadržimo se prvo na precesiji i nutaciji.

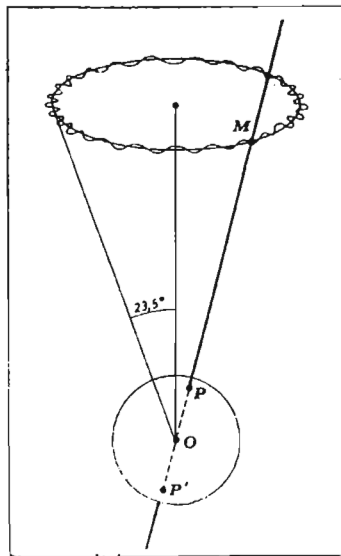
Usled dejstva centrifugalne sile, nastale Zemljinim obrtanjem Zemlja je dobila oblik obrtnog elipsoida, ona nije idealna lopta, već je na polovima spljoštena, a na ekvatoru ispupčena. Sunce i Mesec jače privlače onaj deo ovog ispupčenja koji je njima okrenut nego onaj koji se nalazi suprotno od njih. Razlika ove dve privlačne sile izaziva mali spreg koji se slaže sa spregom Zemljine rotacije i dejstvuje tako da Zemljinu obrtnu osovinu, zajedno sa Zemljom, polako pomera u retrogradnom smeru tako da ona opiše oko ose ekliptike konus otvora $23 \frac{1}{2}^{\circ}$ za 25700 godina. Ovaj period naziva se platonaska godina. Za isto vreme i γ tačka, krećući se retrogradno, opiše ekliptiku, a svetski pol oko pola ekliptike tzv. precesioni krug (sl. 47.). Godišnje pomeranje γ tačke po ekliptici usled ove pojave iznosi oko 50" u susret prividnom Sunčevom godišnjem kretanju. Zato je pojava nazvana precesija, što na latinskom znači prednjačenje.

Posledica precesionog pomeranja svetskog pola medju zvezdama je da će se on sve do 2100. god. približavati Severnjači (do na 27°) a zatim početi da se udaljava od nje. Posle 12000 godina mesto Severnjače zauzeće sjajna Vega. Posledica precesionog pomeranja γ tačke je i retrogradno pomeranje zodijskih znakova. Podela na zodijske znake je izvršena pre više od 2000 godina. Otada su se γ tačka, pa i zodijski znaci pomerili za oko 29° ili skoro tačno za jedan znak. Zato danas znak Ovna pada u sazveždje Ribe, znak Bika u sazveždje Ovna, itd. Najzad, kao posledica precesije,

nastaje i spora izmena izgleda zvezdanog neba i spora promena u trajanju godišnjih doba.



Sl. 47. *Precesioni krug*



Sl. 48. *Talasna kriva astronomske nutacije*



Sl. 49. *Plima i oseka*

No, položaji Sunca i Meseca, a isto tako i njihove daljine, nisu stalni prema Zemlji, već se periodično menjaju. Zato su precesioni krug, a isto tako i precesioni konus, blago zatalasani (sl. 48.). Amplituda jednog talasa ne prelazi $9''2$ za period od 18,6 godina. Ova pojava naziva se astronomska nutacija.

5.10. Plima i oseka. Korišćenje njihove energije

Davno je bilo primećeno da se nivo vode na obalama mora dva puta u $24^h 50^m$ izdiže i dostiže najveću visinu - plima i dva puta spušta do najmanje visine - oseka. Kako je ovo razmak između dve uzastopne Mesečeve kulminacije u jednom mestu, to je pojava plime i oseke vezana za Mesečev uticaj. No i ovu pojavu je egzaktno objasnio tek Njutn zakonom gravitacije.

Pretpostavimo da je čitava Zemlja obavijena vodenim omotačem (sl. 49.). Mesečevo privlačno gravitaciono dejstvo na tačku M, zbog veće blizine, biće veće od privlačenja tačke T, a još veće od privlačenja tačke M! Zato će se tačka M približavati više Mesecu

od Zemljina središta, a tačka M' manje od njega. Zato će se na Zemljinoj strani okrenutoj Mesecu i na suprotnoj pojaviti plima, a u tačkama P i P' tada mora nastupiti oseka, pošto je količina vode nepromenjena. Zbog Zemljinog obrtanja stojeći plimski talas (ispupčenje M, odnosno M') kretaće se po površini okeana i mora sa istoka na zapad i plima (odnosno oseka) ponavljaće se u razmacima od $12^h 25^m$.

I Sunce slično utiče svojim privlačenjem no zbog njegove znatno veće daljine ovaj uticaj je dva puta manji. U fazi mladog i punog meseca ove se plime sabiraju, a u fazama prve i poslednje četvrti oduzimaju, što je i posmatranjima potvrđeno.

Zbog promene položaja i daljina Meseca i Sunca matematički izraz za predviđanje plima i oseka, kao i njihovih iznosa za svako mesto, veoma je složen. No pojava je u praksi još složenija zbog uticaja mesnog reljefa morskog dna i obala, pa će se merene plime i trenuci njihovih pojava znatno razlikovati od računski predviđenih. Visina plime je na otvorenim okeanima oko 1 m. Na Jadranskom moru kreće se od 0,5 - 2 m. Najveća je na istočnoj obali Kanade, gde dostiže 15 m. Poznavanje visine morskoga nivoa u svakom trenutku je od velikog praktičnog značaja za plovidbu, za geodetske potrebe i za iskorišćavanje plimske energije u privredne svrhe. Na atlanskoj obali Francuske postoje električna centrala i veliki mlinovi koji koriste energiju plime. Sve više se radi na usavršavanju mehanizma za iskorišćavanje ove veoma jevtine džinovske energije, koja je, posle Sunčeve, najveća na Zemlji i iznosi oko 11 triliona konjskih snaga. U poredjenju sa njom malenkost su onih nekoliko stotina miliona konjskih snaga koje danas ukupno koristi čovečanstvo.

I sam Zemljin vazdušni okean trpi sličan gravitacijski uticaj Meseca i Sunca koji na njemu izaziva atmosferske plime i oseke. I sama Zemljina kora, koja nije sasvim čvrsta, već plastična, trpi ovaj uticaj i pokazuje, iako u mnogo manjoj meri, plime i oseke Zemljine kore, čije su interesantne zakonitosti predmet izučavanja mnogih geofizičkih opservatorija.

5.11. Savladjivanje gravitacije. Vasionske letilice. Jednačina Ciolkovskog

Odavno je čovek sanjario o tome kako da savlada Zemljinu gravitaciju i krene u Vasionu. Prvi je za ovo dao naučni projekt 1903. g. Ciolkovski. Ali je tek 1957. g. izbačen prvi Zemljin veštački satelit, a 1961. g. prvi put poleteo čovek u Vasionu (J. Gagarin). Već 1969. g. prvi ljudi su se iskricali na Mesecu (Armstrong i Oldrin) (sl. 50.), a nešto kasnije kosmički brodovi prošli su pored same Venere i Merkura, zatim pored Marsa, Jupitera i Saturna i



Sl. 50. *Nil Armstrong, prvi čovek na Mesecu*

Zemlje. Druge služe za telekomunikacije i televizijske prenose, treće za uspešno otkrivanje bogatih mineralnih nalazišta itd.

Izbacuju se pomoću višestepenih raketa (sl. 51) velike vučne sile na principu reaktivnog mlaza koji je dobro poznat iz fizike, a za sad koriste najviše čvrsta hemijska goriva. Uskoro će započeti korišćenje nuklearne i druge energije. Vučna sila F jednaka je proizvodu iz brzine w isticanja goriva u odnosu na raketu i mase q izbačenog goriva u sekundi, tj.: $F = w q$.

Ako ističe gas, vučna sila se povećava za još jedan član:

$$F = wq + S(p_r - p_a),$$

gde je S površina otvora isticanja, a $p_r - p_a$ razlika izmedju pritiska gasa na otvoru i atmosferskog. Kad raketa izidje iz atmosfere

izbliza snimili njihove površine (v. sl. na korricama). Danas preko 3000 veštačkih nebeskih tela kruži Vasionom. U glavi VIII govori se o astronomskim otkrićima koje je pružila astronautika.

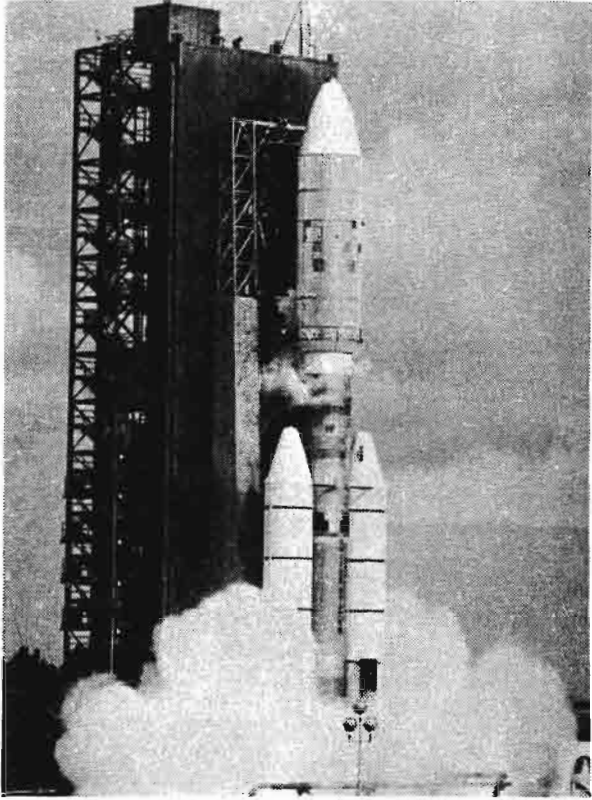
Veštački Zemljini sateliti i druge vasionske letilice, medjutim, ne služe samo za astronomska istraživanja. Ima ih veoma različitih vrsta i namena. Pomoću njih je ispitan tačan Zemljin oblik i snimljene su najdetaljnije karte čitave

$p_a = 0$, pa se vučna sila znatno povećava. Pri ravnomernom isticanju goriva brzina w koju dostigne raketa kad istekne gorivo data je jednačinom Ciolkovskog:

$$v = 2.3 w \cdot \log \frac{m_0}{m_k}$$

u kojoj je m_0 početna masa rakete, a m_k konačna njena masa posle isticanja goriva. Odnos m_0/m_k naziva se broj Ciolkovskog, a brzina

w idealna ili karakteristična brzina rakete.



Sl. 51. Višestepena raketa kojom je izbačen "Voidžer"

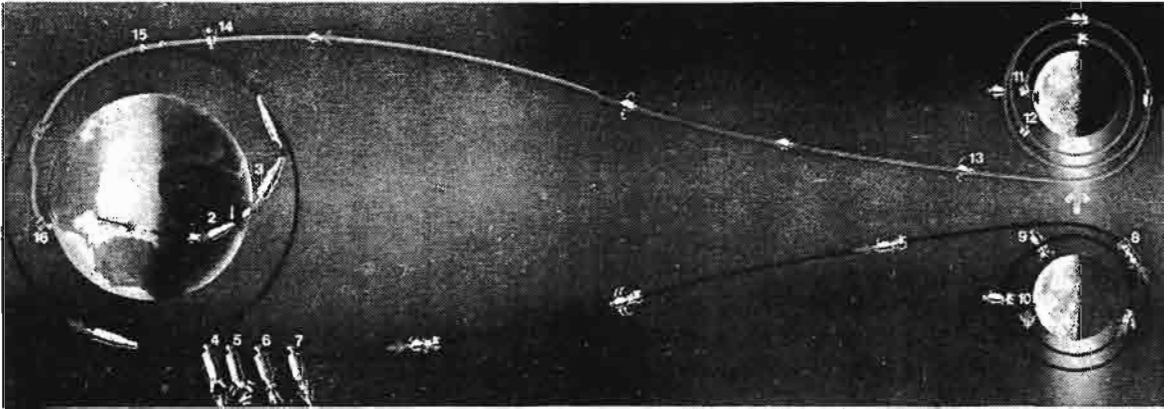
na Mesec i vratila ih u određenu tačku na Zemlji.

5.12. Kosmičke brzine

Razmotrimo, služeći se zakonom gravitacije, kakve su brzinepotrebe da bi se telo, izbačeno u pravcu kruženja oko Zemlje, odvojilo odnje i da bi se odvojilo i od samog Sunčevog sistema.

Putanje vasijskih letilica, da bi u pravom trenutku dostigle željeni cilj, tj. pravu tačku u ogromnom vasijskom prostoru, računaju se veoma složenim metodama nebeske mehanike uz korišćenje velikih savremenih računara. Pa i pored toga moraju se u ove putanje s vremena na vreme unositi popravke. To se postiže neprekidnim posmatranjem ovih letilica i određivanjem njihovih koordinata, a popravke se diriguju iz centra na Zemlji sistemom za daljinsko upravljanje. Na sl. 52. je primera radi, data složena putanja letilice "Apolo" koja je i ljude dovela

Prva kosmička brzina. Obeležimo sa m_0 masu Zemlje, sa m masu veštačkog Zemljinog satelita, izbačenog u horizontalnom pravcu na udaljenju $r = R + h$ od Zemljinog središta (gde je R Zemljin poluprečnik, a h visina satelita), pod pretpostavkom da nema atmosfere koja otporom smanjuje brzinu satelita. Da ne bi pao na Zemlju, već kružio oko nje, sila gravitacije koja na njega deluje,



Sl. 52. Putanja vasijskih brodova "Apollo"

treba da bude jednaka centripetalnoj sili. Zato možemo napisati dve ekvivalentne jednačine:

$$\frac{m v_k^2}{r} = f \frac{m \cdot m_0}{r^2} \quad \text{i} \quad \frac{m v_k^2}{r} = mg$$

Zato i za brzinu kruženja v_k ima dva ravnopravna izraza:

$$v_k = \sqrt{f m_0 / r} = \sqrt{f m_0 / (R+h)},$$

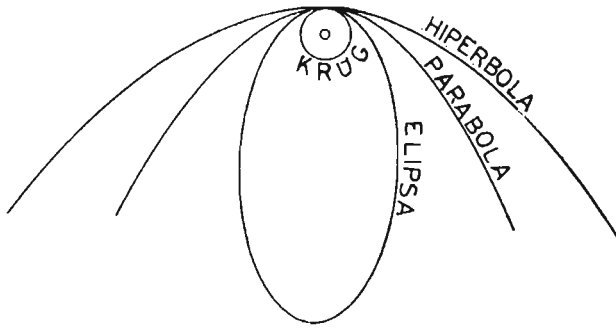
$$v_k = \sqrt{g \cdot r} = \sqrt{g (R+h)},$$

Ako je $h = 0$, onda se brzina kruženja naziva prva kosmička brzina i ona je iz poslednja dva izraza:

$$v_1 = \sqrt{f m_0 / R} \quad \text{ili} \quad v_1 = \sqrt{g \cdot R} = 7,9 \text{ km/s.}$$

Tada se i brzina kruženja na visini h (sl. 53.) može izraziti pomoću prve kosmičke brzine:

$$v_k = v_1 \sqrt{R(R+h)},$$



Sl. 53. Različiti oblici putanje

je i tako se koristi početna brzina koju dobijaju od same Zemlje.

Druga kosmička brzina. Da bi telo izbačeno pod istim uslovima kao u prethodnom slučaju napustilo Zemlju, njegova kinetička energija treba da je bar jednaka potencijalnoj energiji u datoj tački:

$$\frac{m \cdot v_p^2}{2} = f \frac{m \cdot m_0}{r} \quad \text{i} \quad \frac{m \cdot v_p^2}{2} = mgr.$$

Odatle je granična brzina napuštanja Zemlje na visini h , ili parabolična brzina:

$$v_p = \sqrt{2fm_0/r} = \sqrt{2fm_0/(R+h)} = v_k \sqrt{2},$$

$$v_p = \sqrt{2gr} = \sqrt{2g(R+h)}.$$

Parabolična brzina na Zemljinoj površini naziva se druga kosmička brzina i iznosi:

$$v_2 = \sqrt{2fm_0/R} \quad \text{ili} \quad v_2 = \sqrt{2gR} \quad \text{ili} \quad v_2 = v_1^2 = 11,2 \text{ km/s}.$$

Tada je parabolična brzina izražena drugom kosmičkom brzinom:

$$v_p = v_2 \sqrt{R/(R+h)}.$$

Odatle se vidi da je parabolična brzina utoliko manja ukoliko je vasijski brod izbačen na većoj visini. Do visine h njega nosi višestepena raketa, tamo se automatski okrene u horizontalni položaj i brzina se poveća do v_p .

Telo izbačeno brzinom manjom od v_p kruži oko Zemlje po elipsi (sl. 53.) koja je sve izduženija što je brzina veća. Pri brzini $= v_p$ telo napušta Zemlju po paraboli, a ako je brzina veća od v_p - po hiperboli (sl. 53.).

odakle se vidi da je brzina kruženja utoliko manja ukoliko je satelit izbačen u horizontalnom pravcu na većoj visini h iznad Zemlje. Zbog uštede u gorivu Zemljini veštački sateliti izbacuju se u smeru brzine Zemljine rotacije

Satelit koji oko Zemlje kruži na daljini r od središta ima vreme od ulaska:

$$t_k = 2\pi r / v_k = (2\pi R / v_1) \cdot \sqrt{(R+h)^3 / R^3}$$

Vreme je utoliko veće ukoliko je veća visina h ; najmanje je pri Zemljinoj površini i iznosi:

$$t_1 = 2\pi R / v_1 = 84^m 5.$$

Vežu između vremena obilaska i poluose putanje daje treći Keplеров zakon.

Treća kosmička brzina. To je brzina v_3 kojom treba izbaci telo sa Zemlje da napusti i sam Sunčev sistem. Ako je Sunčeva masa $M = 2,0 \cdot 10^{30}$ kg a njegov poluprečnik $R = 696000$ km, druga kosmička brzina bi na Sunčevoj površini iznosila:

$$v_2 = \sqrt{2fM/R} = 6,8 \text{ km/s}$$

Na Zemljinoj daljini $r = 1,6 \cdot 10^{10}$ m brzina kruženja bi iznosila:

$$v_k = \sqrt{fM/(R+r)} = 29,8 \text{ km/s},$$

a parabolična brzina:

$$v_p = 29,8 \sqrt{2} = 42,1 \text{ km/s}.$$

Zemlja se oko Sunca kreće prosečnom brzinom 30 km/s, pa je jasno zašto ne može napustiti Sunčev sistem.

Da bi telo izbačeno po tangenti na Zemljinoj putanji oko Sunca, a u smeru Zemljinog kretanja, savladalo Zemljinu gravitaciju, treba mu dati brzinu $v = 42,1 \text{ km/s} - 29,8 \text{ km/s} = 12,3 \text{ km/s}$.

Da bi napustilo Sunčev sistem, treba mu dati kinetičku energiju

$$\frac{m v_s^2}{2} = \frac{m \cdot v_2^2}{2} + \frac{m \cdot v^2}{2}.$$

Odatle izlazi da je treća kosmička brzina:

$$v_3 = \sqrt{v_2^2 + v^2} = 16,6 \text{ km/s}.$$

Ova brzina još nije dostignuta, ali se uveliko istražuju izvori energije kojom se ona može postići.

Razmišlja se i o izvorima energije koji bi stvorili tzv. četvrtu kosmičku brzinu v_4 kojom bi telo bačeno sa Zemlje napustilo naš Zvezdani sistem.

Z a d a c i

1. Može li Mars svake godine prići na najmanju daljinu od Zemlje, tj. doći u opoziciju?¹⁾

2. Opozicija Jupitera dogodila se 15. juna 1937. g. Kada je bila sledeća?

3. Za koje bi vreme obilazila oko Sunca planeta koja bi od njega bila udaljena 100 astronomskih jedinica?

4. Šta je veće: ubrzanje koje Zemlja saopštava Suncu ili Mesecu i koliko puta?

5. Izračunati masu Marsa u poredjenju sa Zemljinom iz kretanja njegovog satelita Fobos, čija je srednja daljina od Marsa 9300 km, a vreme obilaska oko Marsa 0,32 dana. Za Mesec te veličine iznose 385000 km i 27,3 dana.

6. Koliko će vremena leteti do Marsa vasijski brod koji se kreće po putanji čiji je perihel udaljen od Sunca kao Zemlja (1), a afel udaljen kao Mars (1,5 astronomskih jedinica)?

7. Koliku brzinu mora imati veštački Zemljit satelit da bi kružio 1000 km iznad Zemlje? Koliko traje jedan njegov obilazak na toj visini?

8. Koliku bi brzinu morao da postigne vasijski brod na Marsu da bi poleteo ka drugim planetama? Masa Marsa je $0,64 \cdot 10^{24}$ kg, a njegov poluprečnik 3430 km.

9. Izračunaj drugu kosmičku brzinu u km/s za planetu Pluton.

P o s m a t r a n j a

1. Iz astronomskih efemerida koje objavljuje časopis "Vasiona odredi periode večernje i jutarnje vidljivosti Venere. Zatim unosi iz večeri u veče, odnosno iz jutra u jutro, Venerine položaje u zvezdanu kartu i uveri se o prividnom kretanju unutrašnjih planeta.

2. Iz istih efemerida kao u prethodnom zadatku odredi periode u kojima planete Mars, Jupiter i Saturn opisuju "petlje".

1) Podatke o planetama vidi u 8.7.

Odaberi jednu od njih, koja ima najpovoljnije uslove vidljivosti u doba posmatranja, pa unosi iz večeri u večere njene položaje u zvezdanu kartu i uveri se o prividnom kretanju spoljašnjih planeta.

3. Posmatraj u malom astronomskom teleskopu planetu Jupiter. Pokušaj da uočiš njegovu Crvenu pegu i da odrediš približno njene dimenzije.

4. Posmatraj četiri najveća Jupiterova satelita I^h i pokušaj da uočiš promene njihovih položaja. Posmatraj ih i sutradan i uporedi na crtežu njihove položaje s onim iz prethodnog dana.

5. Posmatraj malim astronomskim teleskopom planetu Saturn. Pokušaj da uočiš neki od njenih satelita i da izbrojiš koliko se vidi njegovih prstenova.

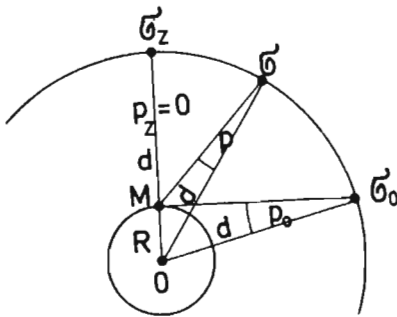
6. Odredi brojanjem sekundi trajanje kretanja jednog veštačkog satelita iznad horizonta. Izračunaj odatle približno njegovu daljinu.

GLAVA VI

DALJINE I VELIČINE NEBESKIH TELA

6.1. Dnevna paralaksa. Odredjivanje daljine tela u Sunčevom sistemu

Paralaksa je ugao pod kojim se iz date tačke vidi data duž - osnovica. Ako sa krajeva osnovice izmerimo uglove koje pravci ka toj tački zaklapaju sa osnovicom i znamo njenu dužinu, možemo trigonometrijski izračunati i daljine date tačke od oba kraja osnovice. (Nacrtaj sliku!).



Dnevna paralaksa p je ugao pod kojim se sa jednog nebeskog tela Sunčeva sistema vidi Zemljin poluprečnik R (sl. 54.). Ona je najveća kad je telo na horizontu i zove se horizontska paralaksa p_0 . Ova se odredjuje iz posmatranja, a svaka druga paralaksa istog nebeskog tela, dobiva se iz nje-gove merene zenitne daljine z i p_0 (sl. 54.):

$$\sin p = \sin z \cdot \sin p_0$$

ili zbog majušnosti uglova p i p_0 :

$$p = p_0 \sin z.$$

Daljina d nebeskog tela dobiva se iz $\triangle OMS_0$:

$$d = \frac{R}{\sin \cdot p_0} \approx \frac{R}{p_0 \cdot \sin 1''} \approx 206\,265 \cdot \frac{R}{p_0''}.$$

Ako usvojimo Zemljin poluprečnik za jedinicu, daljinu dobivamo u Zemljinim poluprečnicima. Uzmemo li R u km i daljinu dobivamo u km.

Srednja Mesečeva paralaksa tako iznosi $57'$, a njego-va srednja daljina 384400 km ili oko 60 R. Srednja paralaksa Sunca $8'',794$ a njego-va srednja daljina 149597870 km.

Sl. 54. Dnevna paralaksa nebeskog tela u zenitu, na proizvoljnoj visini i na horizonti

6.2. Radarska metoda - Poslednjih decenija nadjena je još jedna metoda za merenje daljina nebeskih tela u Sunčevom sistemu. To je radarska metoda. Ona je i najpreciznija. Sastoji se u tome da se odredi vreme za koje će radio-talas poslat do nebeskog tela stići do njega, odbiti se i vratiti u prijemnik.

Tako su određene vrlo precizne daljine za Mesec, Merkur, Veneru i Mars sa tačnošću do na 1 ili 2 km, od ogromnog značaja za slanje vasionkih letilica na ova nebeska tela i u njihove blizine. Na osnovi njih je izračunata po trećem Keplerovom zakonu i najnovija vrednost za srednju daljinu Sunca, data u prethodnom paragrafu. Ona se nešto razlikuje od ranije usvojene astronomske jedinice, pa je dobila i nov naziv - jedinica daljine.

6.3. Odredjivanje pravih veličina nebeskih tela Sunčevog sistema

Ako znamo daljinu nebeskog tela i izmerimo njegov prividni (uglovni) poluprečnik R , sa sl. 30. lako nalazimo i njegov pravi poluprečnik r :

$$r = \Delta \sin R \approx \Delta R \sin 1'' \approx \frac{\Delta R''}{206\,265}.$$

r se dobija u istim jedinicama u kojima je data daljina Δ . Tako je npr. srednje $R_0 = 16'$, pa je $r_0 = 60 \cdot \sin 16' = 0,27R$.

Odredjivanje daljina i pravih veličina udaljenih nebeskih tela jedan su od mnogobrojnih primera neizmerne mogućnosti čovekova saznanja.

6.4. Godišnja paralaksa. Odredjivanje zvezdanih daljina

Dnevne paralakse zvezda jednake su 0, jer se i sa najbliže zvezde zbog njene ogromne daljine, Zemljin prečnik vidi kao tačka. Ma kako dugu osnovicu na Zemlji izabrali, sa oba njena kraja zvezdu vidimo u istom pravcu. No ako za osnovicu izaberemo prečnik Zemljine putanje oko Sunca, posmatran sa raznih njenih krajeva, ovaj se pravac po malo menja, ali ni tada nikad više od 1". Iz ove promene izračunali smo daljinu za oko 10000 najbližih zvezda po sličnim obrascima kao i za dnevne paralakse.

I doista, ako nazovemo godišnjom paralaksom π zvezde ugao pod kojim se vidi poluprečnik Zemljine putanje a (kad je $\odot T_1 \perp T_1 O$) i ako je ona određena iz posmatranja sa suprotnih krajeva T_1 i T_2

prečnika te putanje, onda daljinu zvezde D dobivamo iz prostog izraza:

$$D = a / \operatorname{tg} \pi \approx a / \pi \sin 1'' \approx 206\,265 a / \pi''.$$

Za više stotina hiljada daljih zvezda nadjene su astrofizičke, približne metode, pa su po njima određene njihove dajine.

Poznavanje daljina zvezda vrlo je važno za stvaranje slike o raspodeli nebeskih tela i o gradji Vasiona.

6.5. Astronomske jedinice za daljinu

Kilometar je suviše sitna jedinica za izražavanje velikih daljina nebeskih tela. Za daljine tela u Sunčevom sistemu zato se koristi jedinica za daljinu A. To je srednja daljina Zemlja - Sunce određena iz mnogobrojnih merenja. Ona iznosi:

$$A = 149600000 \text{ km}$$

Tačnija vrednost izvedena iz radarskih merenja iznosi 149597870 km.

Za daljine zvezda potrebna je još mnogo veća jedinica. Odavno se za to koristi svetlosna godina. To je dužina koju svetlost prevali za godinu dana krećući se, po najnovijim merenjima, brzinom od 299792,5 + 0,4 km/s. Ona iznosi:

$$1 \text{ sv.god.} = 3,15 \cdot 10^7_{\text{s}} \cdot 3,10^5 \text{ km/s} = 9,46 \cdot 10^{12} \text{ km.}$$

Još veća jedinica, koja se koristi u novije vreme je parsek. To je daljina sa koje se poluprečnik Zemljine putanje vidi pod uglom od 1". On iznosi:

$$1 \text{ pc} = 206265A = 3,26 \text{ sv.god.} = 3,1 \cdot 10^{13} \text{ km.}$$

Za još veće daljine, vangalaktičkih tela, koriste se još veće jedinice: kiloparsek (10^3 pc) i megaparsek (10^6 pc).

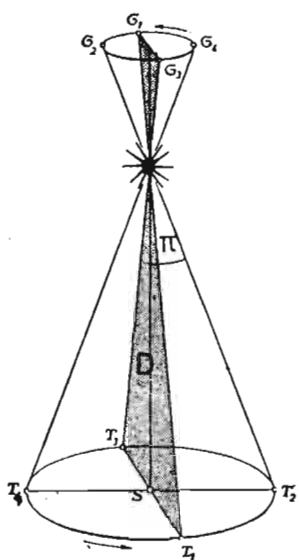
6.6. Godišnja paralaksa kao dokaz Zemljine revolucije

Svaka zvezda usled Zemljinog obilaženja oko Sunca (revolucije) u toku godine prividno menja pravac u kome je vidimo, tako da prividno opiše po nebeskoj sferi jednu malu elipsu, tzv. paralaktičku elipsu. Ukoliko je zvezda dalja, utoliko je ova elipsa manja i za veoma udaljene svodi se na tačku, pa se ne može ni videti ni neposredno izmeriti. I za najbliže zvezde velika po-

luosa ove elipse je manja od $1''$. Ona npr. iznosi za zvezdu α

Kentaura $0'',760$, za α V. Medveda $0,375$, α M. Medveda $0,288$ α Orla, $0,198$: Elipsa je utoliko spljoštenija ukoliko je zvezda bliža ekliptici.

Ova elipsa predstavlja projekciju Zemljine putanje na nebesku sferu i jedan je od egzaktnih dokaza Zemljinog obilaženja oko Sunca. Pojavu bliže objašnjava sl. 55.



Sl. 55. Paralaksa i daljina zvezde

Z a d a c i

1. Ako je Sunčeva paralaksa $8'',79$, a njegov prividni poluprečnik $16'$, koliko je puta Sunčev pravi prečnik veći od Zemljinog, a koliko su puta veće njegova površina i zapremina od Zemljine površine i zapremine?

2. Na kolikom bi se najvećem uglovnom rastojanju od α Kentaura videla sa Zemlje planeta, koja bi obilazila oko te zvezde na rastojanju od 300 miliona km, kad je paralaksa α Kentaura $0'',76$?

3. Neposredna astrometrijska posmatranja Sunca vrlo su teška. Ako smo iz određivanja položaja Marsa sa dve udaljene stanice na Zemlji dobili za njegovu paralaksu $5'',79$, izračunaj njegovu daljinu, a zatim posredno i vrednost A po trećem Keplerovom zakonu.

P o s m a t r a n j a

1. Posmatraj sijalicu koja visi ispod tavanice u dvorani. Obilazi u krug po periferiji prosorije ne skidajući oka sa sijalice. Kakvu će krivu opisati projekcija sijalice na tavanici dvorane?

2. Približi oko jezičku na terazijama i zatvaraj čas levo čas desno oko. Kako će se prividno pomerati levo, desno, projekcija jezička na mernu skalu i kolika greška u merenju može doći od paralakse?

3. Izmeri u dvorištu osnovicu od 10 m i podalje od nje pobodi kočić. Viziraj ga sa svakog kraja osnovice i izmeri približno (teodolitom ili kakvim prostijim uglomerom), uglove koji vizure zaklapaju sa osnovicom, pa izračunaj daljinu kočića od svakog kraja osnovice, i uporedi ih sa neposredno izmerenim. Odakle dolazi razlika i koji deo merene veličine ona iznosi?

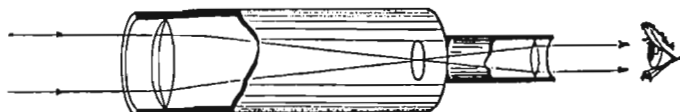
GLAVA VII

ZRAČENJA NEBESKIH TELA I OSNOVNI INSTRUMENTI
ZA NJIHOVO MERENJE

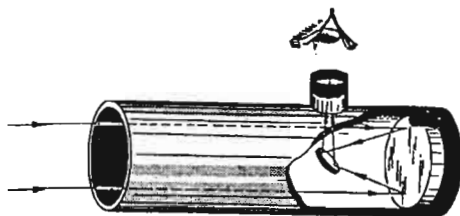
Do početka XVII v. goko oko je bilo jedini prijemnik zračenja. Tada je pronadjen teleskop i time učinjen dijalektički skok u razvoju saznanja o nebeskim telima. Teleskop je instrument koji sabira više svetlosti od golog oka uz pomoć sočiva ili ogledala. Ako se za to koriste sočiva, teleskop se naziva refraktor, a ako se koriste ogledala, reflektor.

7.1. Teleskop-refraktor

Sastoji se iz dva sistema sočiva na krajevima cevi (sl. 56.). Dužina cevi jednaka je zbiru žižnih daljina objektivna i okulara, pošto se žižne ravni ova dva optička sistema moraju poklapati.



Sl. 56. Princip rada teleskopa-refraktora



Sl. 57. Teleskop-reflektor Njutnovog tipa

Objektiv je optički sistem od više sočiva okrenut predmetu sa ciljem da sakupi što više svetlosti od njega. Svetlosni protok srazmeran je površini objektivna. Zakoni prolaska svetlosnog zraka kroz optičke sisteme poznati su iz fizike.

Okular je sistem sočiva koji kao lupa povećava lik predmeta stvoren objektivom.

Uveličanje teleskopa je odnos ugla pod kojim se vidi lik u okularu prema uglu pod kojim se vidi predmet neposredno, ili odnos žižne daljine objektiva prema žižnoj daljini okulara.

Najveći današnji refraktor s otvorom objektiva 102 cm nalazi se na Jerksovoj opservatoriji u SAD. Na Beogradskoj opservatoriji veliki refraktor (sl. 8) ima otvor objektiva 65 cm. Uveličava do 2000 puta, ali mu je najveće korisno uvećanje 500 puta zbog ne-

7.2. Teleskop-reflektor

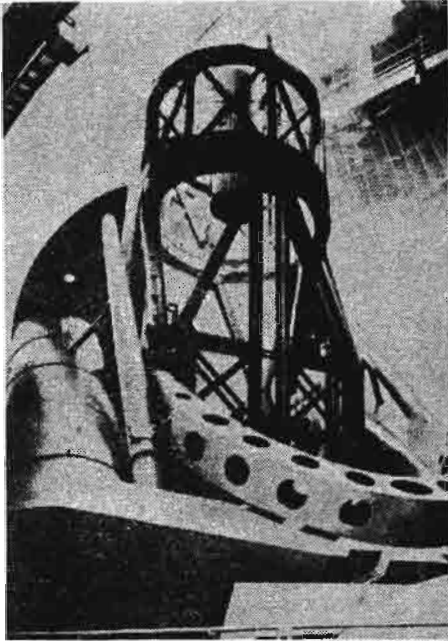
U njemu je objektiv izdubljeno sferno ili paraboloidno ogledalo (sl.57.). Preimućstva nad refraktorom su što se lakše izradjuju i mnogo veća ogledala nego sočiva, što nema hromatske aberacije i što se ogledalo može učvrstiti delom svojom zadnjom površinom.

I refraktori i reflektori postavljaju se na više načina. Svima je zajedničko to da im je omogućeno okretanje oko polarne osovine po časovnom uglu i oko tzv. deklinacijske osovine (upravne na polarnoj). Okretanjem oko nje teleskop se može dovesti na datu deklinaciju. Tako on materijalizuje mesni ekvatorski koordinatni sistem i može se uperiti lako na svako nebesko telo čije su ekvatorske koordinate poznate. Kad se to učini, pušta se časovni mehanizam kojim se teleskopom prati nebesko telo na njegovom prividnom dnevnom kretanju, tako da za sve vreme posmatranja (merjenja) može ostati u preseku krsta paukovih ili sintetičkih konaca razapetih u žižnoj ravni objektiva.

Najveći današnji reflektor sa otvorom objektiva 6 m nalazi se na Kavkazu.

7.3. Fotografske metode

Od polovine prošlog veka koristi se često na teleskopu, mesto oka, foto ploča u žižnoj ravni objektiva za razna položajna i fizička izučavanja nebeskih tela. Njena preimućstva su sabirna moć (što se duže izlaže, do izvesne granice, to dublje prodire u vasionu i snima znatno slabije zvezde i druga nebeska tela no što se mogu videti teleskopom), dokumentarnost (snimci se čuvaju i



Sl. 58. Teleskop-reflektor

vrlo slabih zvezda i dr. nebeskih tela, pa odatle i za određivanje njihovih preciznih prividnih veličina, npr. u cilju izučavanja njihovih promena.

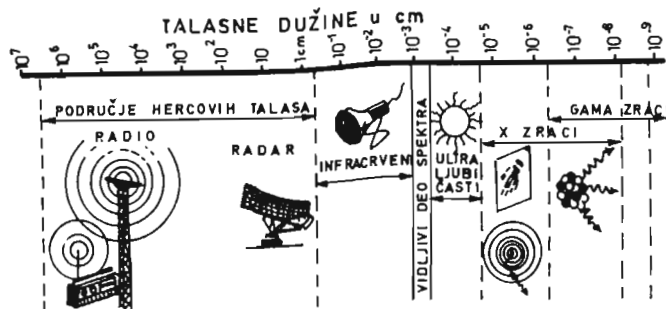
merenja uvek mogu ponoviti, proveriti ili uporedjivati) i dr.

7.4. Fotoelektrični fotometri

Fotoćelija je stakleni balon bez vazduha u čijem se središtu nalazi materijal koji ima osobinu da svetlosnu energiju pretvara u električnu, tj. svetlosni protok u električni protok (fotoelektrični efekt). Ovako dobivena električna struja srazmerna je svetlosnom protoku i meri se, pošto se do milion puta pojača. osetljivim galvanometrom. Upotrebljava se za vrlo precizno merenje svetlosnog zračenja

7.5. Vrste elektromagnetnog zračenja nebeskih tela. Spektroskop i spektrograf

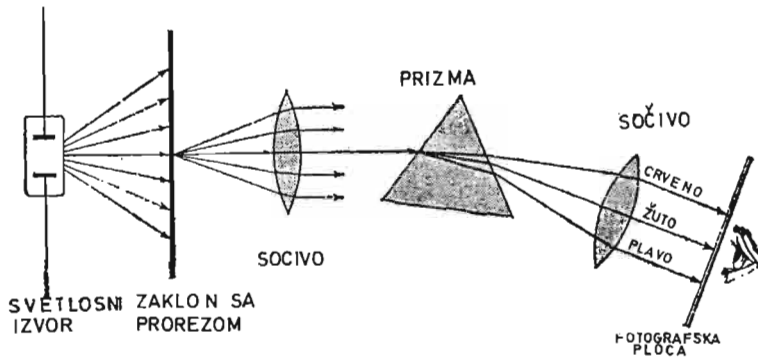
Elektromagnetno zračenje nebeskih tela obuhvata ogroman opseg talasnih dužina (sl. 59.). Najduži su radiotalasi (od 200 m do 0,1 mm), zatim infracrveni (toplotni) zranci ili talasi (s dužinama od 1,4 mm do $0,75 \mu$), vidljivi zranci ili talasi (svetlost)



Sl. 59. Opsezi talasnih dužina elektromagnetnog zračenja

(s dužinama od 7500 \AA - 3900 \AA), ultraljubičasti zraci ili talasi (s dužinama od 3900 \AA - 100 \AA), rendgenski zraci (od $100 - 0,1 \text{ \AA}$) gama-zraci (od $4 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ - 10^{-15} m i manje).

Za analizu vidljivog dela spektra i jednog dela infarcrvenog i ultraljubičastog spektra služi izuzetno važan instrument - spektroskop (sl. 60.).



Sl. 60. Spektroskop (shematski)

Njime se određuje hemijski sastav, fizičko stanje nebeskih tela i brzine kojima nam se ona približavaju ili se od nas udaljavaju, tzv. radijalne brzine. Glavni su mu delovi: kolimator sa uskim prorezom, staklena prizma (ili optička rešetka), koja paralelne zrake razlaže u spektar svih duginih boja i okular kroz koji se posmatraju različiti delovi spektra i meri položaj njegovih emisionih ili apsorpcionih linija i on upoređuje s položajima odgovarajućih linija pojedinih hemijskih elemenata u spektrima koji se dobijaju u laboratorijama.

Ako se dobiveni spektar snima na fotoploči, instrument se naziva spektrograf.

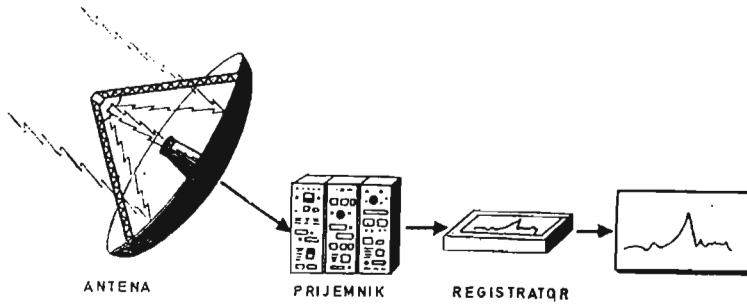
Za ostale opsege talasnih dužina postoje posebni detektori.

7.6. Radioteleskopi i radiointerferometri

Za merenje radio-zračenja nebeskih tela služi radioteleskop (sl. 61.). Veliki metalni paraboloid (slično objektivu optičkog teleskopa) služi da u svoju žižu skuplja što veću količinu energije radiotalasa od posmatranog nebeskog tela. U toj žiži nalazi se mala antena (dipol) sa koga radioimpulsi odlaze u pojačivač i prijemnik, najzad, u registrator gde pero ispisuje krivu sa koje se u svakom

trenutku čita jačina primljenog radiozračenja od posmatranog nebeskog tela ili oblasti neba.

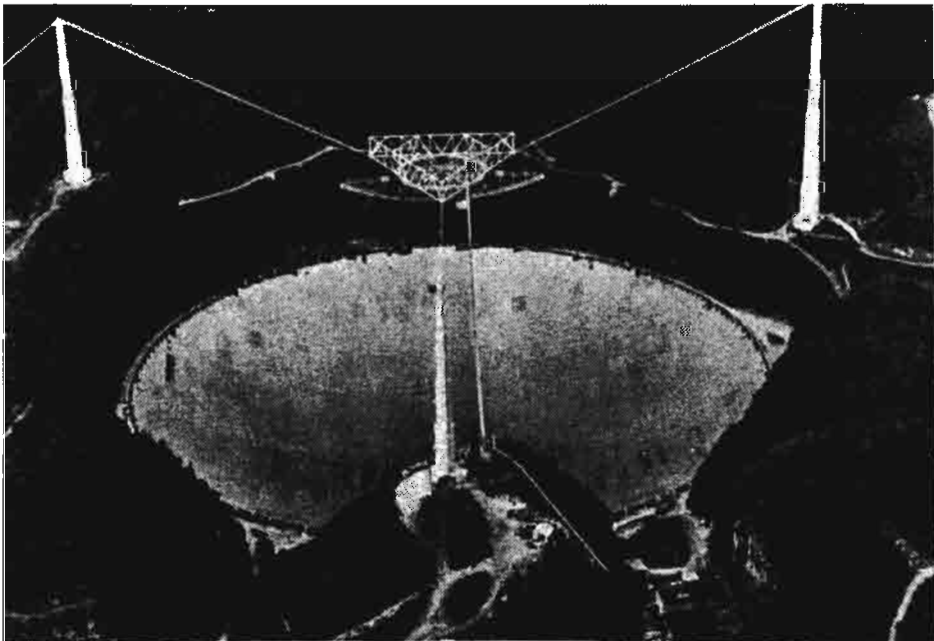
Zbog izuzetno male snage vanzemaljskih radioizvora i zbog slabe razdvojne moći radioteleskopa, grade se iz godine u godinu sve veći radioteleskopi. Jedan od najvećih s nepokretnom antenom



Sl. 61. Shematski prikaz radio-teleskopa

Kavkazu, gde je najveći teleskop-reflektor. Poznat je pod skraćenicom "Ratan 600". Prečnik prstenaste antene mu je 576 m, a njena sabirna površina 13000 m². Omogućuje posmatranje i najdaljih tačkastih radioizvora, kao i raznovrsna izučavanja Sunca, planeta i satelita, pa se od njega uskoro očekuju mnoga nova otkrića.

prečnika 305 m nalazi se u Portoriku (sl.62.). Najveći današnji radioteleskop nalazi se nedaleko od Specijalne astrofizičke opservatorije na



Sl. 62. Jedan od najvećih radioteleskopa s nepokretnom antenom prečnika 305 m u Portoriku

Znatno veća razdvojna moć i preciznost u određivanju položaja radioizvora postiže se pomoću dva udaljena radioteleskopa ili dva sistema posebnih antena. Takav instrument naziva se radio-interferometar. Ovakvi instrumenti džinovskih razmera nalaze se u SAD, Engleskoj, Holandiji i drugde.

Z a d a c i

1. Ako ispred objektiva teleskopa staviš prst ili na sam objektiv papirić koji će zakloniti jedan njegov deo, da li će se ti predmeti videti u vidnom polju i kako će se odraziti?

2. Pročitaj na okularima školskog teleskopa koliko uveličanje daju kad se upotrebe na njemu i izračunaj njihove žižne daljine. Ako su ispisane žižne daljine, izračunaj uveličanja. Kolika bi uveličanja ti isti okulari dali na teleskopu Beogradske opservatorije sa otvorom 65 cm?

3. Razdvojna moć teleskopa je najmanji ugao pod kojim se dve zvezde vide u teleskopu razdvojene. Ako je poznat prečnik objektiva D u cm, može se izračunati iz izraza $S = 11,6 D$. Izračunaj razdvojnu moć školskog teleskopa i onog na Astronomskoj opservatoriji u Beogradu s prečnikom objektiva 65 cm.

4. Domet teleskopa je najmanja prividna veličina koja se njime vidi sasvim jasne noći. Ona je približno $m = 7,5 + 5 \log D$, gde je D prečnik objektiva u cm. Nadji domet školskog teleskopa, teleskopa Beogradske opservatorije otvora 65 cm i Maunt-Palomarskog s otvorom 5 m.

5. Koje uveličanje treba izabrati pa da se Jupiter (s prividnim prečnikom 40") vidi kao Mesec golim okom?

6. Ako je prividni prečnik Meseca 31' koliki će biti prečnik u milimetrima njegovog lika u žižnoj ravni školskog teleskopa?

P o s m a t r a n j a

1. Pokušaj da od stakala za naočare i fabričkih okulara napraviš mali refraktor.

2. Pokušaj da od sočiva i optičke prizme sam napraviš mali spektroskop i pomoću njega dobiješ spektar Sunca.

3. Pokušaj da izglačaš od staklene ploče sferno ogledalo i da sam načiniš mali reflektor.

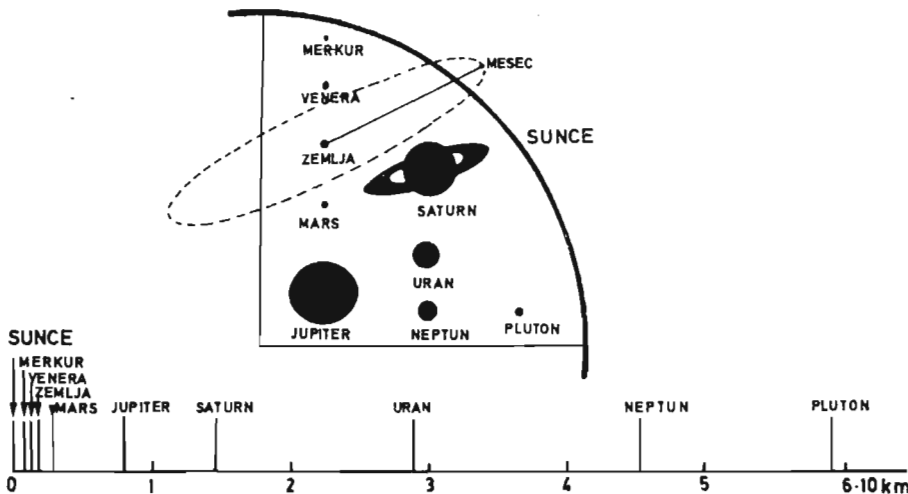
4. Pokušaj da snimaš sjajnija nebeska tela običnim fotoaparatom kroz okular i u žiži objektiva.

GLAVA VIII

SUNČEV SISTEM

8.1. Osnovne odlike Sunčevog sistema

Sunce je jedina zvezda Sunčevog sistema, Zemlji najbliža, najpodrobnije proučena i predstavlja izvor toplote, svetlosti i života na Zemlji. Zbog velike mase, koja prelazi 99% mase svih ostalih tela Sunčevog sistema, ono svojim privlačenjem (gravitacijom) nateruje sva ostala tela da kruže oko njega po stabilnim putanjama. Tu su na prvom mestu 9 velikih planeta (Merkur, Venera, Zemlja, Mars, Jupiter, Saturn, Uran, Neptun i Pluton) sa svoja 34 satelita, oko 2000 do danas ispitanih malih planeta (planetoida ili asteroida), oko 600 poznatih kometa i neizmernim brojem sitnijih tela, meteora. Ceo sistem ispunjen je oblacima vrlo retke prašine i gasa. Na sl. 63. date su u odredjenoj razmeri veličine planeta u odnosu na Sunce i njihove daljine od Sunca.



Sl. 63. Veličine planeta prema Sunčevoj i njihove daljine od Sunca u odredjenoj razmeri

8.2. Odlike mirnog Sunca

Sunce je po svojim osobinama prosečna zvezda. Njegove

osnovne fizičke odlike date su niže u tablici:

Fizičke odlike Sunca

Masa	m_{\odot}	2.10 ³⁰ kg (oko 330000 m_{\bullet})
Poluprečnik	R_{\odot}	7.10 ⁵ km (oko 109 R_{\bullet})
Srednja gustina	ρ_{\odot}	1.41.10 ³ kg/m ³ (oko 0,256 νg_{\oplus})
Gravitacijsko ubrzanje na površini	g_{\odot}	2,74.10 ⁴ cm/s ² (oko 28 g)
Površinska temperatura	T	oko 6000°C
Ukupan sjaj	L	3,9.10 ²⁶ W
Sunčeva konstanta	l	1,4.10 ³ W/m ²

☉ Sunce, • Zemlja

To je gasovita usijana lopta od plazme koja zrači sve vrste elektromagnetnih talasa, a izbacuje i potoke najsitnijih naelektrisanih čestica iz različitih svojih izvora. Energija koju primi 1 cm² Zemljine površine u 1^m od upravnih Sunčevih zrakova naziva se Sunčeva konstanta i iznosi 1,94 cal. Ako taj broj pomnožimo brojem kvadratnih centimetara Zemljine površine, dobivamo za ukupnu energiju Sunčevog zračenja 5,43.10²⁷ cal/min ili 3,86.10³³ erg/s, ili 5.10²³ konjskih snaga. Ako bi ledeni most debljine 3 km povezivao Zemlju sa Suncem, pa bismo kroza nj propustili Sunčevu energiju, most bi se za jednu sekundu istopio.

Iz Sunčeve gustine od 1,4 g/cm³ vidi se da, pod uslovima koji tamo vladaju, ono nije čvrsto. To se vidi i iz temperature njegove površine od 6000°C koja se može izračunati iz zakona zračenja crnog tela. To se vidi i iz toga što Sunce ima takvu rotaciju da se njegovi razni pojasi paralelni njegovom ekvatoru obrću različitim brzinama (zonska ili diferencijalna rotacija). Tačke blizu njegovog ekvatora izvrše jednu rotaciju za 25 dana, a one blizu pola za 30 dana. Sam uzrok ove pojave još nije konačno objašnjen.

Spektralna analiza pokazuje da se Sunce sastoji iz vodonika (oko 60% mase) i helijuma (oko 40% mase), a da na sve ostale

elemente, koji su isti kao i oni na Zemlji, otpada samo oko 1% njegove mase.

Kao i sva nebeska tela, Sunce je sastavljeno iz slojeva različitih fizičkih odlika. Sastoji se iz tri gasovita omotača:



Sl. 64. Granularna struktura mirne fotosfere

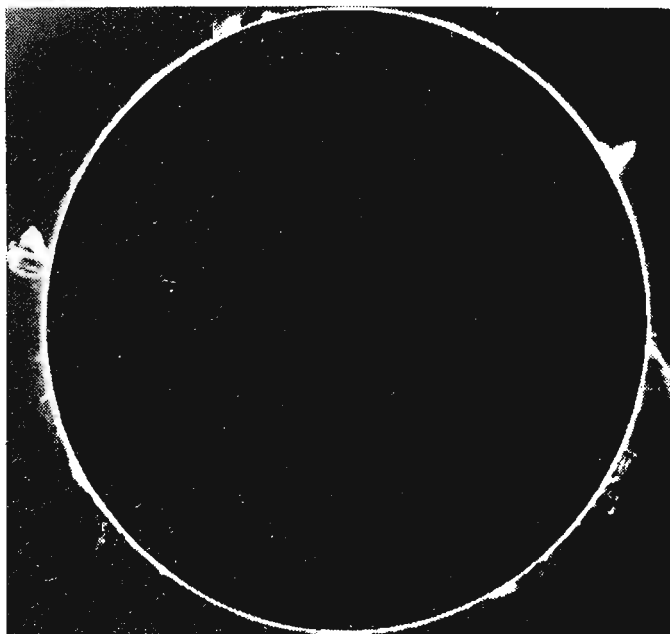
fotosfere, hromosfere, korone i unutrašnjosti, gde su izvori njegove energije.

Fotosfera je površinski sloj debeo oko 300 km. Posmatran kroz teleskop ima zrnastu strukturu (sl. 64.). Jedno zrno, tzv. granula (prečnika oko 1500 km) izbija iz nižih delova u vidu svetlog mlaza, koji se zadržava na površini oko pet minuta i ponovo tone. Fotosfera je najgušći Sunčev vidljiv sloj. Pa ipak redji od vazduha. Ostali su slojevi još daleko redji.

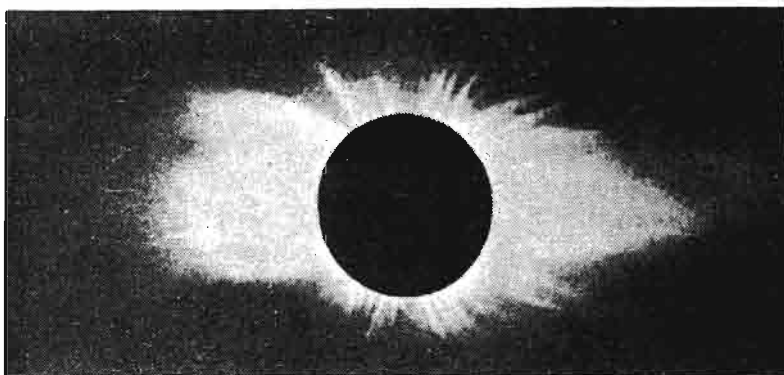
Odmah iznad fotosfere

sfera (sl. 65.). Ona se može posmatrati za vreme potpunih Sunčevih pomračenja kao tanak crvenkasti prsten s plamičcima iznad fotosfere zaklonjene Mesecem. Može se videti i pomoću posebnih monohromatskih filtara i naročitih spektroskopa. Ona emituje samo nekoliko linija u ultraljubičastoj, ljubičastoj, crvenoj i radiofrekventnoj oblasti spektra. Neprimetno prelazi u još viši sloj - Sunčevu koronu.

Korona je spoljašnji veoma razredjeni omotač, oko sto miliona puta slabijeg sjaja od fotosfere. Vidi se za vreme potpunih Sunčevih pomračenja i menja oblik u zavisnosti od opšteg stanja Sunčeve aktivnosti (sl. 66.). Danas se može videti i posebnim instrumentom, koronijumom, s visokih posmatračkih stanica. Korona nam šalje neprekidni i linijski spektar. Neprekidni dolazi od fotosferske svetlosti rasute na elektronima u koroni, a linijski od usijanih koroninih gasova.



Sl. 65. Sunčeva hromosfera



Sl. 66. Sunčeva korona

jezgro helijuma u stanju da objasni ovolike temperature. Tom prilikom se višak mase pretvara u ogromne zalihe energije koja se probija u više slojeve i delimično zrači sa površine Sunca.

8.3. Sunčeva aktivnost

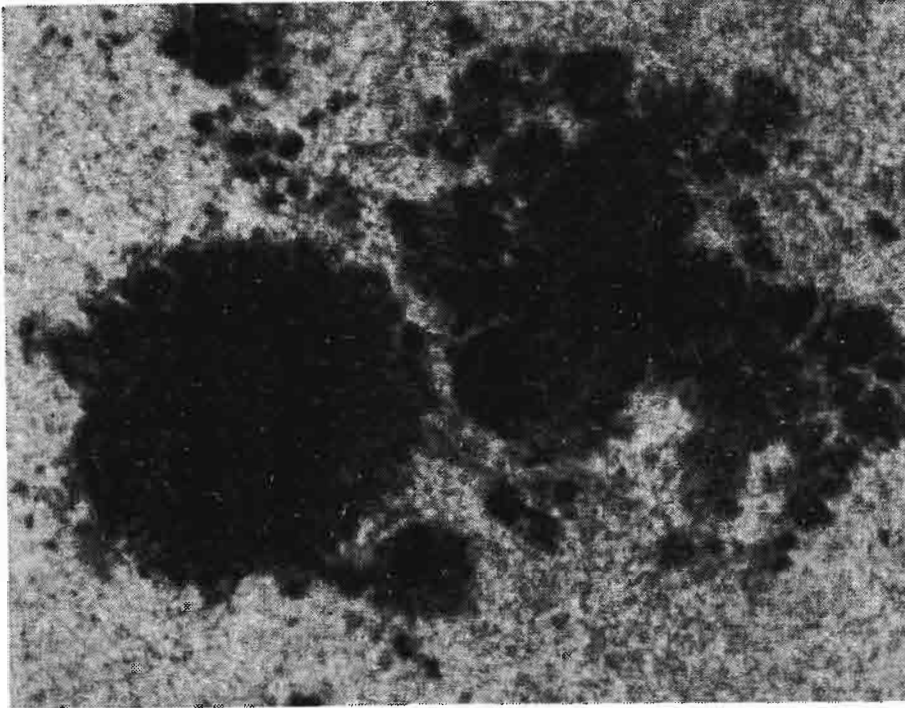
Izvesnih godina "mirno Sunce", čiju smo gradju opisali biva izloženo pojačanoj aktivnosti. Najvažniji oblici njegove aktivnosti su: pege, protuberance i hromosferske erupcije.

Sunčeve pege otkrivene su odmah posle pronalaska teleskopa. Javljaju se prvo kao sitna pegica - pora na čistom Sunčevom koturu koja se za nekoliko dana, a nekad i za nekoliko nedelja,

Njegove linije, utvrđeno je posle dugih i teških istraživanja da potiču od višestruko jonizovanih atoma gvoždja, kalcijuma i nikla na temperaturi od oko milion stepeni Celzijusovih. Korona neprekidno prelazi u međuplanetski prostor i u tragovima se prostire i do Zemlje.

Nevidljiva Sunčeva unutrašnjost izučena je teorijski na osnovi fizičkih zakona. Tako je u Sunčevom središtu nađeno da temperatura iznosi oko 14 miliona stepeni. Od svih poznatih izvora energije jedino je termonuklearna reakcija spajanja 4 jezgra vodonika u

razvije u čitavu grupu pega. Na sl. 67. prikazana je jedna takva grupa. Temperatura im je malo niža od okolne fotosfere i vrtložne su gradje. Postanak i razvoj im još nije konačno objašnjen. Prosečna pega veća je od Zemljine lopte. Godine s minimum i maksimumom pega dosta se pravilno smenjuju s periodom od oko 11 godina, koja je karakteristična za sve oblike Sunčeve aktivnosti.

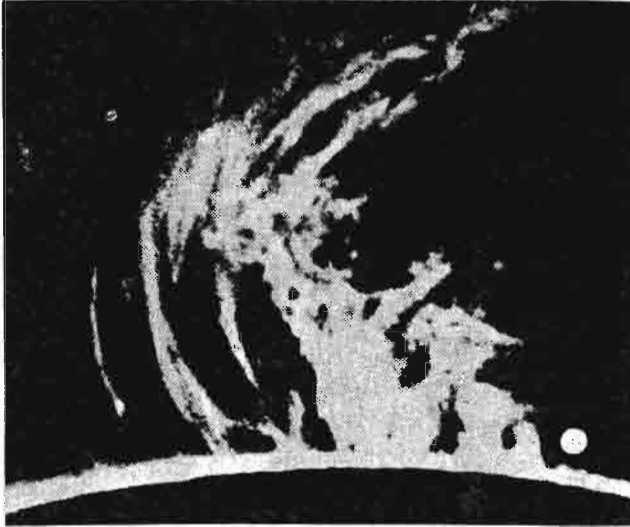


Sl. 67. Grupa Sunčevih pega - detalj

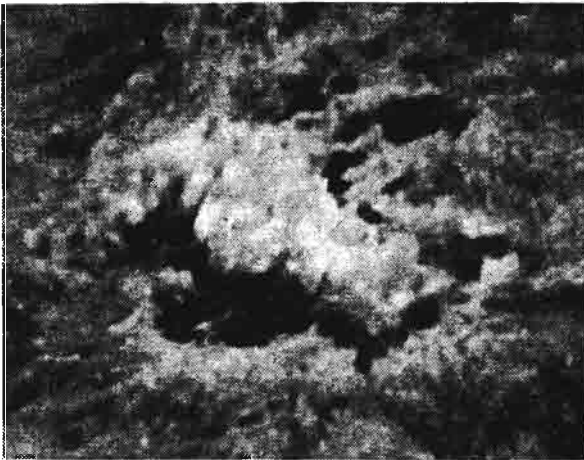
Protuberance su crvenkasti oblaci gasovite materije koja izbija u vidu vodoskoka iz hromosfere i dostiže visine i od više stotina hiljada kilometara. Lepo se vide na rubu Sunca za vreme njegovog potpunog pomračenja, a redovno se posmatraju i prate posebnim instrumentom - spektroheliografom. Sl. 68. prikazuje jednu veću protuberancu u poredjenju sa Zemljinom loptom. Neke protuberance mogu da traju i po više nedelja.

Hromosferske erupcije (sl. 69.) javljaju se kao iznenađan blesak u hromosferi, obično iznad veće grupe pega, koji traje $5^m - 30^m$. Imaju najveći uticaj na Zemlju i njenu atmosferu. Pored vidljivog spektra one emituju svojstven rendgenski i ultraljubičasti spektar, kao i radiotalase i potoke naelektrisanih čestica.

Svi se oni izučavaju posebnim instrumentima. O njihovim geofizičkim posledicama biće govora kad se budemo zadržali na Zemlji kao planeti.



Sl. 68. Sunčeva hromosfera sa protuberancama



Sl. 69. Sunčeva erupcija

se pored fizike i tehnike dobro poznavati i fizika Sunca i dobar deo astronomije. Eto još jedne njene praktične primene!

8.4. Korišćenje Sunčeve energije

Sunce je izvor života na Zemlji, njegov regulator i bitan činilac, ne samo sa biološkog, već i sa energijskog gledišta. Ugalj i nafta, energija reka i mora, vetrovi, ... - sve je to deo pretvorene Sunčeve energije koju ljudi koriste.

Sunčeva energija se poslednjih decenija i neposredno koristi u baterijama

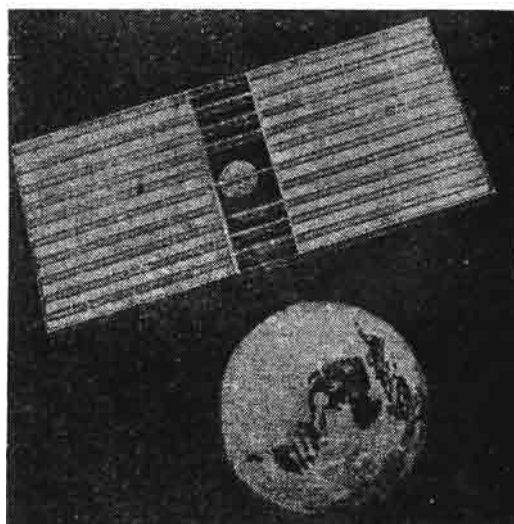
koje nose veštački sateliti i koje je pretvaraju u električne tokove. Pomoću tzv. Sunčanih peći (sl. 70.) ova se energija danas u razvijenim zemljama, pa i kod nas, već koristi i za zagrevanje prostorija i vode u radnim organizacijama i stanovima. Ona je od velikog značaja kada se pojavi nestašica nafte ili uglja. Da bi se Sunčeva energija što razumnije iskoristila mora

8.5. Zemlja i njena atmosfera. Osnove geofizike

Zemlja je čvrsto nebesko telo (planeta) pokrivena vodom (oko 70%). Iznad njene površine nalazi se gasovit omotač - atmosfera.



Sl. 70a. Filipsova eksperimentalna kuća u Ahenu sa čelijama za korišćenje Sunčeve energije



Sl. 70b. Idejni projekt američkih inženjera za džinovsku vasionu električnu centralu koja će koristiti Sunčevu energiju

Zemljin oblik i veličina

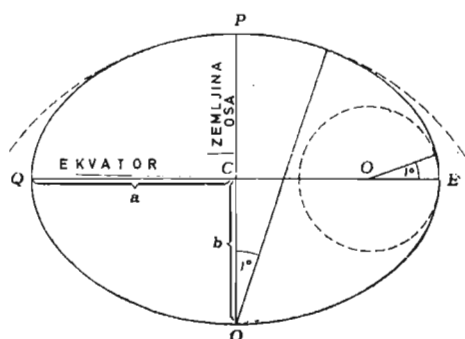
Prastari narodi su smatrali da je Zemlja ploča. U IV v. pre n.e. već je dokazano da je Zemlja lopta, a već u II v. pre n.e. već je izmeren

Zemljin obim i za njen poluprečnik u današnjoj meri dobiveno $R = 6370$ km, tj. oko 40000 km. Iz njegovog tačnijeg merenja je u XIX v. izvedena i definicija metra.

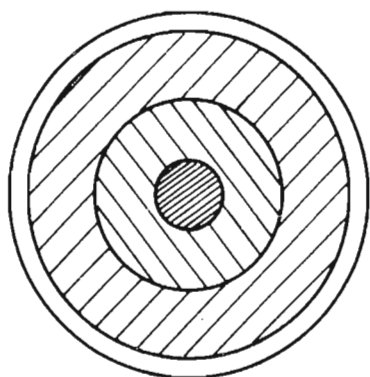
Njutn je teorijski dokazao da je Zemlja zbog obrtnog kretanja spljoštena na polovima, tj. da ima oblik sferoida (sl. 71.). Kasnije je i geodetskim merenjima dokazano da je dužina 1° meridijanskog luka veća na polu nego na ekvatoru, da je Zemljin ekvatorski poluprečnik (a) manji od polarnog (b) za $a - b = 21$ km i da njena spljoštenost iznosi $\alpha = (a - b) / a = 1 / 298$. Merenja sa veštačkih Zemljinih satelita pokazala su da je spljoštenost južne Zemljine polulopte malo veća no severne, te da Zemlja ima blagi oblik kruške - apioid.

Za najtačniji Zemljin oblik uzima se površina svuda jednake gravitacione sile najbliža okeanskim površinama i naziva geoid. Odredjuje se iz geodetskih i astronomskih merenja.

Zemljina gustina. Zemljinu masu možemo izračunati iz zakona gravitacije. Ako kamen na Zemlji mase M ima masu m, a težinu mg, privlačna sila između kamena i Zemlje biće jednaka težini kamena:



Sl. 71. Zemljina krivina na polu i ekvatoru



Sl. 72. Zemljina unutrašnja gradnja sa 4 glavna sloja

ljašnje jezgro (do 5000 km) i unutrašnje jezgro (do Zemljinog središta). Gustina raste do 12 g/cm^3 u središtu, a temperatura do oko 2000°C . Dok je kora sastavljena pretežno iz silicijuma, aluminijuma i magnezijuma, dotle je spoljašnje jezgro pretežno iz teških metala. Današnja istraživanja, koja su još u toku, pokazuju da je unutrašnje jezgro u tečnom stanju i da mu je sastav sasvim drugačiji. No konačan sud će o tome dati skorija budućnost. Materija je tamo pod pritiscima pod kojima dosad nije bila izučena u laboratorijama.

Izučavanjem radioaktivnim elementima nadjeno je da je Zemlja stara oko 4,5 milijardi godina, da je bila tečna i da se

$$mg = fmM / R^2,$$

gde je konstanta gravitacije $f=6,67 \cdot 10^{-8}$ dina, a Zemljin poluprečnik $R = 6370 \text{ km}$. Odatle je Zemljina masa:

$$M = g \cdot R^2 / G = 6 \cdot 10^{27} \text{ g}$$

Kako je Zemljina zapremina:

$$V = 4/3 R^3 \pi = 1,08 \cdot 10^{27} \text{ cm}^3$$

to je njena srednja gustina, kao masa u jedinici zapremine:

$$\rho_{\oplus} = 5,5 \text{ g/cm}^3$$

Kako je gustina njene kore samo $2,7 \text{ g/cm}^3$, to se gustina u jezgru penje i preko 10 g/cm^3 .

Zemljina unutrašnjost ispitana je geološkim, gravimetrijskim i geomagnetskim merenjima, ali najuspešnije izučavanjem prostiranja potresa kroz Zemljinu unutrašnjost - seizmologijom, pošto je čovek bušenjem Zemlje stigao samo do oko 10 km. Tako je nadjeno da Zemlja ima četiri sloja (sl. 72.), koru (debljine 30 - 60 km ispod kontinenta i 5 - 10 km ispod okeana), omtač (do dubine od 2900 km), spo-

ljašnje jezgro (do 5000 km) i unutrašnje jezgro (do Zemljinog središta).

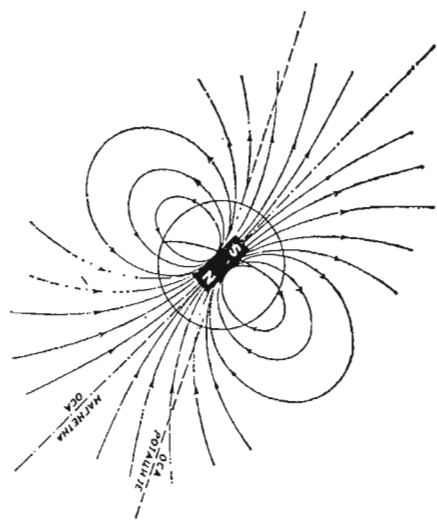
Gustina raste do 12 g/cm^3 u središtu, a temperatura do oko 2000°C . Dok je kora sastavljena pretežno iz silicijuma, aluminijuma i magnezijuma, dotle je spoljašnje jezgro pretežno iz teških metala. Današnja istraživanja, koja su još u toku, pokazuju da je unutrašnje jezgro u tečnom stanju i da mu je sastav sasvim drugačiji. No konačan sud će o tome dati skorija budućnost. Materija je tamo pod pritiscima pod kojima dosad nije bila izučena u laboratorijama.

Izučavanjem radioaktivnim elementima nadjeno je da je Zemlja stara oko 4,5 milijardi godina, da je bila tečna i da se

zatim ohladila.

Zemljino magnetno polje . Zemljin magnetizam stvara u Zemlji i oko nje tzv. geomagnetno polje. Pravac i smer njegov u svakoj tački pokazuje već busola. Precizne vrednosti za njih, kao i jačinu polja daju u svakoj tački instrumenti - magnetometri. Geomagnetni instituti, kao što je u nas onaj kod Grocke kraj Beograda, mere elemente ovog polja i izradjuju njegove karte, u naučne, privredne i odbrambene svrhe.

Elementi ovog polja se menjaju postupno u toku vremena (sekularne varijacije), a podložni su i brzima i kratkotrajnim promenama (pulsacije) različita porekla. Naelektrisane čestice sa Sunca (najčešće ih hromosferskih erupcija) izazivaju nagle poremećaje geomagnetnog polja (magnetne bure) koji onemogućuju upotrebu busole za plovidbu po nekoliko dana. Sve se ove promene stalno registruju u geomagnetnim institutima.



Sl. 73. Zemljino magnetno polje

Geomagnetno polje u celini može se predstaviti poljem šipkastog magneta (sl. 73.), čija osovina prolazi kroz Zemljino središte i sa Zemljinom obrtnom osovinom zaklapa ugao od oko 11° . Tačke u kojima magnetna osovina preseca Zemljinu površinu zovu se geomagnetni polovi. Oni polako menjaju svoj položaj. Pravac linija sila ovog polja pokazuje magnetna igla u svakoj tački polja.

Magnetno polje ima i Sunce (2 puta jače od Zemljinog), planeta Jupiter (10 puta jače), mnoge zvezde, pa i sam Zvezdani sistem u celini. Mada je ovo poslednje oko milion puta slabije od Zemljinog, mora se o njemu voditi računa pri izučavanju gradje našeg Zvezdanog sistema.

Zemljina atmosfera. Zemljin vazdušni omotač sastavljen je iz smeše gasova: azota (N_2 78%), kiseonika (O_2 21%), plemenitih gasova, ugljendioksida, vodene pare i dr. (zajedno oko 1%). Vodonika ima vrlo malo u najvišim slojevima, iako je on glavni sastojak svih zvezda, jer njegove čestice Zemljina gravitacija nije bila

dovoljna da zadrži. Gustina atmosfere naglo opada sa visinom. Presek atmosfere sa njenim odlikama na raznim visinama dat je na sl. 74.

Ako uzmemo temperaturu za osnovnu odliku, atmosferu mo-

žemo podeliti na pet slojeva: troposferu, stratosferu, mezosferu, termosferu i egzosferu.

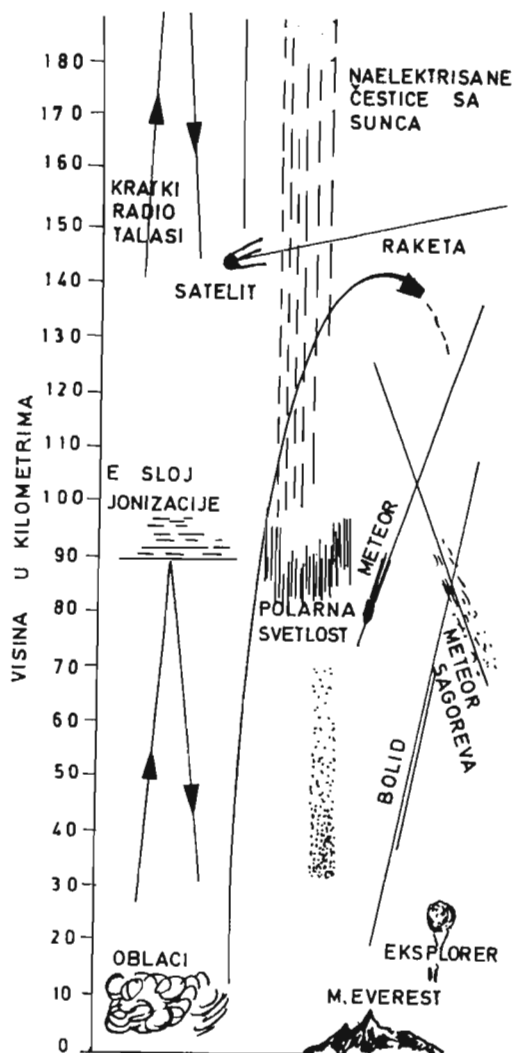
Troposfera je sloj koji se prostire od 6 do 18 km. Najviša je na ekvatoru. U njoj se zbivaju svi događaji koji karakterišu klimu i vremenske prilike. Nju posebno izučavaju klimatologija i meteorologija.

Stratosfera se prostire od 18 - 50 km, bez vertikalnih je strujanja i do 22 km ima istu temperaturu (oko -55°C). Iznad toga temperatura raste i na gornjoj granici dostiže 0°C .

Mezosfera dopire do 80 km visine. U njoj temperatura s visinom najpre raste, zatim opada sve do -90°C (najniža temperatura u atmosferi).

Termosfera doseže do oko 500 km. Temperatura u njoj sporo raste od -90°C do $+2000^{\circ}\text{C}$. Tu je vazduh toliko razredjen da i pored visoke kinetičke temperature molekuli ne mogu da prenesu toplotu na površinu tela u njoj brzinom kojom telo izrači toplotu, pa se tela ne mogu zagrejati a kamoli izgoreti.

Sl. 74. Model Zemljine atmosfere



plotu na površinu tela u njoj brzinom kojom telo izrači toplotu, pa se tela ne mogu zagrejati a kamoli izgoreti.

Egzosfera je najviši sloj koji prelazi 1000 km visine i gde gravitacija jedva uspeva da zadrži gasne atome.

Prema pojavama koje se u njoj događaju, atmosferu delimo na četiri sloja: hemisferu, jonosferu, protonosferu, magnetosferu.

Hemisfera se prostire do 60 km i u njoj glavnu ulogu igraju hemijski procesi.

Jonosfera dopire do oko 600 km i delimično je jonizovana Sunčevim zračenjem i česticama koje tu stižu sa Sunca, iz džinovskih erupcija. U njoj se događaju mnoge geofizičke pojave, kao što je polarna svetlost (sl. 75.), električni tokovi i četiri jonizovana



Sl. 75. Polarna svetlost

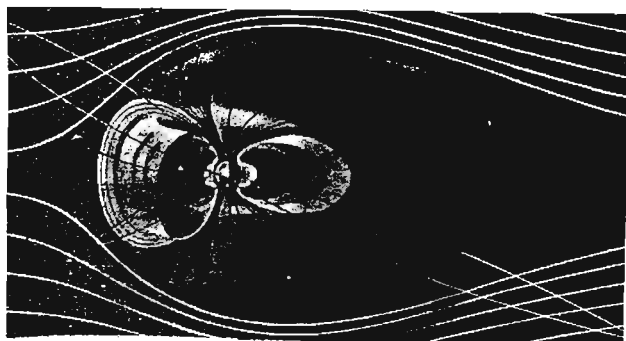
Dalje se prostire samo Zemljino magnetno polje - magnetosfera (sl. 76.). U njoj se nalaze dva radijacijska pojasa otkrivena 1958. god. pomoću veštačkih Zemljinih satelita i vasioniskih sondi. Nalaze se na daljinama od Zemlje: $1R_{\oplus}$ i $3-4 R_{\oplus}$. Sadrže značajne koncentracije elektrona i protona visokih energija čije složenost

sloja, čije se visine i njihove promene stalno mere, jer od njih zavisi mogućnost sporazumevanja na kratkim radiotalasima od izvanredne važnosti za privredu a naročito za narodnu odbranu. Zajedno s magnetnim, nastaju često i jonosferske bure, tj. nagle promene u visini ovih slojeva koje su istog porekla.

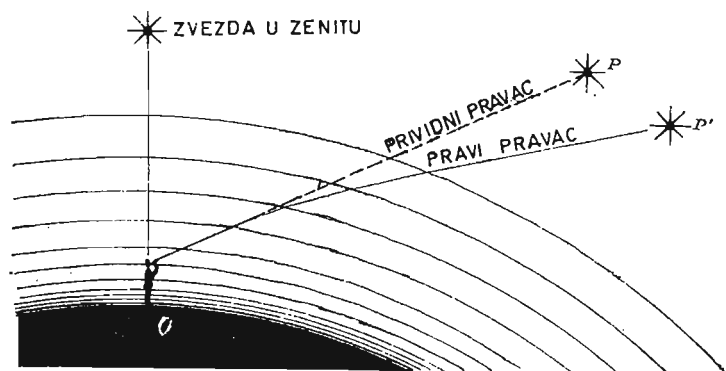
Protonosfera dopire i do 2000 km. Sastoji se od protona (H^+) i helijumovih jona (He^+). Njihovo kretanje određuje Zemljino magnetno polje, a ne gravitacija kao kod neutralnih čestica.

kretanje određuju linije sila Zemljinog magnetnog polja.

Zemljino magnetno polje obrazuje magnetosferu koja je pod dejstvom tzv. Sunčevog vetra deformisana. Na strani okrenutoj Suncu sabijena je na oko $10R_{\oplus}$, a na suprotnoj strani je znatno izdužena i obrazuje tzv. "Zemljin rep".



Sl. 76. Magnetosfera



Sl. 77. Astronomska refrakcija

pod horizonta, njegova svetslost prelomljena kroz atmosferu stvara pojavu sumraka - ujutru zoru, uveče suton. (Objasni bliže ove pojave refrakcijom!).

Treperenje zvezda nastaje zbog mešanja gasova u troposferi te zraci prolaze kroz nemirnu gasovitu sredinu. Svetlost Meseca i planeta je mirna zbog toga što su njihovi snopovi zrakova širi i stabilniji. Tako planete lako razlikujemo po izgledu od zvezda.

Atmosfersko rasejavanje svetlosti

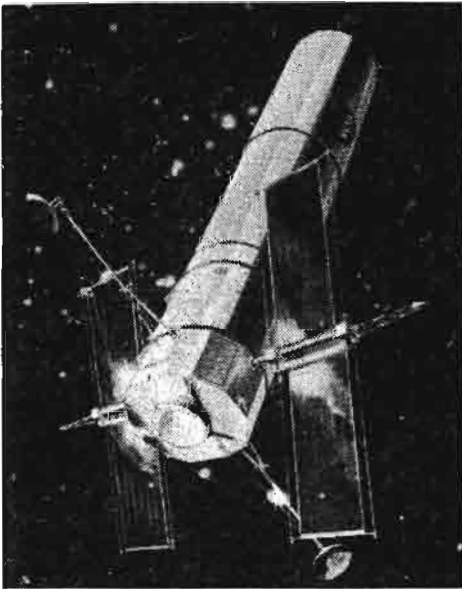
Čestice prašine i dima, pa i sami molekuli gasova u atmosferi, rasejavaju deo Sunčeve svetlosti kao mala, različito orijentisana ogledala. Najviše rasejavaju svetlost kraćih talasnih dužina - otud plava boja neba.

Uticaj Zemljine atmosfere na astronomska posmatranja. Pre no što stigne do oka zračenj. nebeskih tela trpi u atmosferi prelamanje, rasejavanje i upijanje.

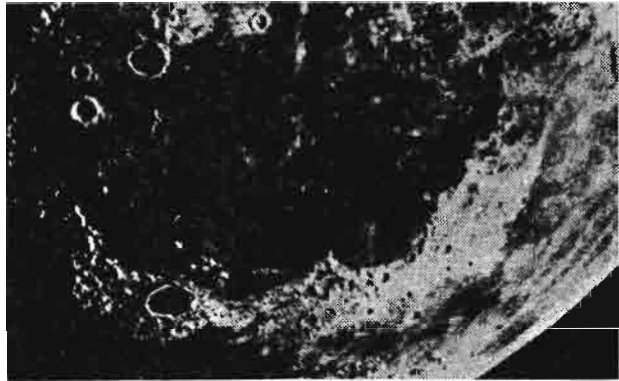
Atmosferska refrakcija (prelamanje zrakova) (sl.77.) dolazi otud što zraci, prostrirući se do oka, prolaze

kroz sve gušće slojeve atmosfere. U svakom se lome ka normali i zato je posmatrano nebesko telo prividno izdignuto iznad horizonta. Otud dan počinje pre izlaska Sunca, Sunce i Mesec su prividno spljošteni pri horizontu. Uveče i ujutru, kad je Sunce is-

Atmosferska apsorbcija je uzrok što od širokog spektra elektromagnetnog zračenja Sunca i zvezda (sl. 60.) vidimo samo vrlo mali deo sa Zemlje. Zato su podignute mnoge planinske opservatorije. (Maunt Vilson, Maunt Palomar, Pik di Midi i dr.). Posle 1960. god. započela je nova, kosmička era u astronomiji. Učinjen je džinovski dijalektički skok u saznanju kad je čovek, najpre u balonima, zatim u raketama, veštačkim Zemljinim satelitima, kosmičkim sondama (brodovima i laboratorijama) poslao posebne detektore koji mogu da posmatraju i mere nebeska tela i u drugim opsezima spektra, o čemu je već bilo reči. Uskoro će biti poslat u Vasionu i džinovski automatski kosmički teleskop (sl. 78.) 2,5m otvora od koga se očekuju mnoga nova saznanja.



Sl. 78. Kosmički teleskop
2,5 m otvora



Sl. 79. Mesečevo "more" oivičeno planinama. Vide se i krateri

8.6. Fizičke odlike Meseca

Zbog 6 puta manje mase i gravitacije od Zemljine odavno se znalo da Mesec nema atmosfere ni vode. To se potvrdilo po oštrini njegovih senki, iz oštrome linije gde se razdvajaju dan i noć na Mesecu tzv. terminatora i dr. pojava. Teleskopom sa Zemlje i iz balona bile su načinjene njegove detaljne karte na kojima se vide oblici njegove površine: "mora", planine, krateri, rila i zruci.

"Mora" su prostrane tamne površine bez vode.

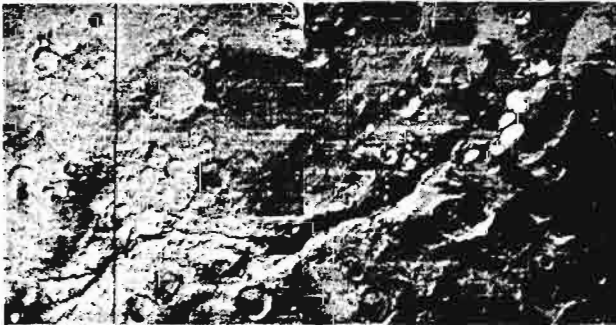
Planine (sl. 79.) oivičavaju mora u vencima (Alpi, Apennini, Karpati, Kavkaz i dr.), visoke su i do 9 km. Visine su im od-

redjene iz dužina njihovih senki i uglova pod kojim na njih pada-ju Sunčevi zraci.

Krateri (sl. 80), slični vulkanima na Zemlji, samo većih razmera, veoma su brojni. Oivičeni su strmim prstenastim planinama i do 6 km visine. Nose nazive velikih istraživača. Postoje krateri nazvani i po našim naučnicima: Bošković, Tesla, Mohorovičić, Milanković. Neki su vulkanskog porekla, a neki su nastali udarima meteorita.



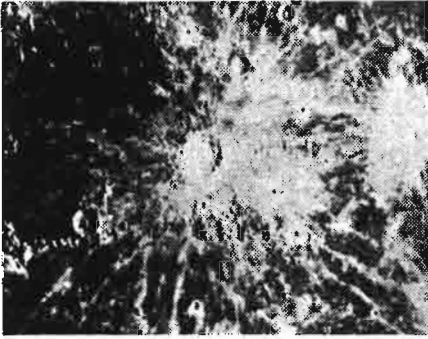
Sl. 80. Krater



Sl. 81. Rile

Rile (sl. 81.) su i do 100 m duboke pukotine koje se protežu i po više desetina kilometara. Nemaju gradju ranijih rečnih korita, već se smatra da su nastale pucanjem kore u toku hla-djenja ili da su korita kojima je tekla lava.

Svetli zraci (sl. 82.) se šire od izvesnih kratera (Tiho) i presecaju sve druge oblike bez promene pravca. Prostiru se do ogromnih daljina. Za sada se o njihovom poreklu malo zna.



Sl. 82. Svetli zraci oko kratera Tiho

Mesec je, uz dramatičnu borbu čoveka, osvojen i neposredno ispitan u kosmičkoj eri astronomije. Tako je 1959. g. "Lunjik III" prvi put snimio suprotnu stranu Meseca koja se nikad ne vidi sa Zemlje, jer su brzine Mesečeve rotacije i revolucije jednake i automatski preneo na Zemlju njene snimke, sa kojim su izradjene detaljne karte. Na sl. 83. data je vidljiva, a

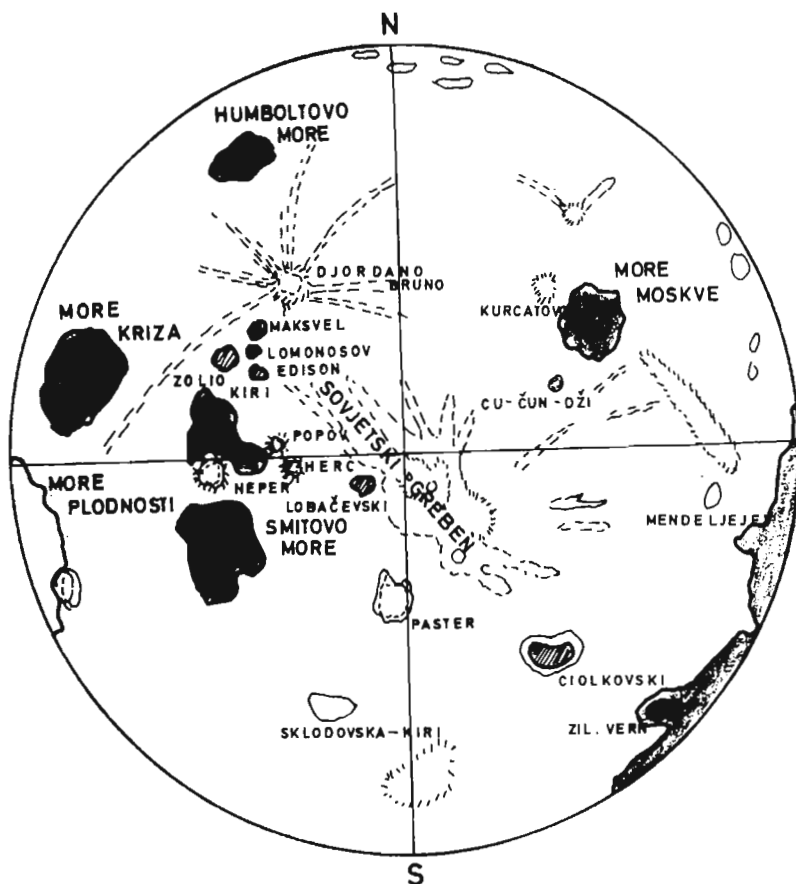


Sl. 83. Karta Mesečeve polovine okrenute Zemlji

na sl. 84 nevidljiva strana Meseca. Na nevidljivoj strani odmah je zapaženo skoro potpuno odsustvo "mora" i znatno manje planina, što još nije konačno objašnjeno. Kraterima je i ova strana bogata.

Godine 1966. je "Lunjik IV" ostvario prvo meko spuštanje na Mesec bez posade, a 1969. g. su se u "Apolu XI" prvi ljudi iskrcali na Mesec, izvršili na njemu niz me-

renja i doneli prve uzorke njegovog tla. Zatim je sledio čitav niz iskrcavanja u brodovima serije "Apolo", kao i spuštanje automatske stanice "Luna", koja je dopremila na Zemlju velike količine uzoraka tla.



Sl. 84. - Karta Mesečeve površine sa druge strane (nevidljive za posmatrača sa Zemlje)

Tim novim metodama je nadjeno da Mesečeva "mora" prekriva sloj od nekoliko centimetara meteoritskim udarima samlevenih u prah bazaltnih stena tamne boje, tzv. regolit. Nadjeni su na planinama u izobilju teži retki metali: hrom, titan, uranijum i torijum, a mnogo manje no u stenama na Zemlji: olovo, bizmut, natrijum i kalijum. Otkriven je i jedan nov mineral nazvan armalkolit po imenima trojice astronauta iz "Apola XI" (Amstrong, Oldrin i Kolins). U uzorcima tla otkriveno je u ogromnom procentu (50%) staklo nastalo topljenjem stena od meteoritskih udara koji su vrlo česti zbog odsustva atmosfere.

Od poznatih činjenica potvrđeno je da Mesec nema vazduha ni vode, zbog čega se na njegovom uvek mračnom nebu vide jednovremeno Sunce, Zemlja i druge planete, kao i zvezde koje sjaju mirnim sjajem. Prelaz iz 15-dnevnog dana u isto toliko dugu noć je trenu-

tan nema ni zore ni sumraka. Potvrđeno je da nema živih bića niti biološke organske materije, da mu temperatura za vreme dana dostiže $+130^{\circ}\text{C}$, a za vreme noći -160°C , ali je kao novost otkriveno da mu je na dubini od 1 m temperatura stalna (-50°C), što potkrepljuje mišljenje da se ne zagreva mnogo iz sopstvenih izvora.

Za srednju gustinu Meseca nadjeno je da iznosi $3,34\text{ g/cm}^3$. Ispod nekih mora utvrđene su manje oblasti velike gustine, nazvane maskoni. Smatra se da je u celini u čvrstom stanju i da mu se gustina znatno povećava ka središtu. Praktično nema opšteg magnetnog polja, ali ima manjih mestimičnih.

Analiza uzoraka pokazala je da je starost Mesečevih stena od 3,7 - 4,7 milijardi godina, tj. da su njegove stene iskristalisale pre nego što je Zemlja dobila čvrstu koru, što, uz druge činjenice, obara pretpostavku da je Mesec postao odvajanjem od Zemlje.

8.7. Fizičke odlike velikih planeta i njihovih satelita

Da bismo upoznali članove Sunčeve porodice planeta, izložićemo neke njihove opšte zajedničke odlike, a zatim ćemo podrobnije proučiti svaki član posebno.

Iz mnogo razloga planete se, prirodno, dele u dve grupe: planete Zemljinog tipa i planete Jupiterovog tipa. Planete Zemljinog tipa su: Merkur, Venera, Zemlja, Mars, a četiri: Jupiter, Saturn, Uran i Neptun su planete Jupiterovog tipa, ili planete - džinovi. Za Pluton ova pripadnost još nije konačno utvrđena.

Planete Zemljinog tipa odlikuju: mala masa, velika gustina, spora rotacija, mali broj satelita i retka atmosfera.

Planete Jupiterovog tipa karakterišu: velika masa, mala gustina, brza rotacija, veliki broj satelita i veoma prostrana i gusta atmosfera.

Verovatno je veličina mase uzrok ovih razlika. Kada se materija kondenzovala u planetna tela, verovatno su planete sa najvećom masom sačuvale prvobitni hemijski sastav i postale planete Jupiterovog tipa sa izrazitim atmosferama koje su sastavljene uglavnom od vodonika i helijuma. Planete bliže Suncu, koje još imaju i manje mase, nisu mogle da sačuvaju atmosfere lakih gasova. Te planete su izgubile svoje atmosfere, a ako ih danas imaju, to su atmosfere od težih gasova. Vrlo je verovatno da su njihove današnje at-

mosfere, sekundarnog porekla, nastale relativno nedavno kao rezultat radioaktivnog raspada ili vulkanskih erupcija.

Osim ovih zajedničkih osobina, svaku planetu karakterišu neke specifičnosti koje joj daju osobno obeležje. Astronautika svake godine obogaćuje naša znanja o fizičkim odlikama susednih planeta. Medjutim, o najudaljenijim planetama, kao što su Uran, Neptun i Pluton, još uvek vrlo malo znamo.

Merkur je najmanja, ali vrlo sjajna planeta. Krećući se u unutrašnjosti Zemljine putanje prividno se udaljava od Sunca najviše 28° , te se vidi samo $1,5^h$ posle Sunčeva zalaza, odnosno $1,5^h$ pre Sunčeva izlaza, prema tome da li je istočno ili zapadno od nje-ga.

Pokazuje mene slične Mesečevim.

Iako je manji od Zemlje ($R=2405$ km) slične je gustine kao Zemlja. Parametri koji pokazuju njegove odlike dati su u donjoj tablici, kao i za ostale planete.

Najnovija merenja pokazuju da mu obrtanje, traje $58,6$ dana te da mu periodi rotacije i revolucije nisu medju sobom jednaki, kao što se doskora smatralo. Na strani okrenutoj Suncu temperatura dostiže $+300^{\circ}\text{C}$ - $+420^{\circ}\text{C}$, a na suprotnoj -180°C .

Merkur ima vrlo retku atmosferu.

Ima vrlo slabo magnetno polje. Nema satelita. "Mariner X" je pokazao da je po izgledu površine vrlo sličan Mesecu (sl. 85.).



Sl. 85. Snimak površine Merkura iz "Marinera X" sa daljine od 200000 km



Sl. 86. Venera snimljena iz vasion-ske sonde



Sl. 87. Radarski snimak Venerine površine

Venera (sl. 86.) je najsjajnije nebesko telo posle Sunca i Meseca. Najviše se prividno udaljava od njega 48° , pa se vidi i puna tri časa posle Sunčevog zalaza (kao Večernjača), odnosno 3 časa pre Sunčevog izlaza (kao Zornjača ili Danica). Često se vidi i danju golim okom.

Pokazuje mene kao i Merkur.

Po veličini, masi i gustini slična je Zemlji. Daskora smo znali da ima vrlo gustu atmosferu, od koje joj i dolazi sjaj, ali je ona skrivala od našeg oka mnoge planetine osobenosti. Tek od 1962. g. počeli su vasiionski brodovi "Mariner" i automatske stanice "Venera" da otkrivaju njene ostale karakteristike: da joj je atmosfera sastavljena od ugljendioksida, da u njoj azota skoro nema, a vodene pare i kiseonika veoma malo. Da je pri vrhu njen pritisak kao u Zemljinoj atmosferi pri dnu, a da na planetinoj površini dostiže do 100 atmosfera, da je temperatura na njenoj površini 470°C i, što je najneobičnije, da rotira u suprotnom smeru od ostalih planeta i da joj period rotacije iznosi 243 dana. Uslovi za život na njoj nisu povoljni. Rađarski snimci njene površine (sl. 87.) pokazuju da je veoma stenovita. Ostaje otvoreno pitanje zašto se, iako slična po masi i veličini, ova planeta toliko razlikuje od Zemlje u svemu ostalom.

Venera nema magnetnog polja ni satelita.

Mars je nešto slabijeg sjaja od Venere, s veoma retkom atmosferom, pa je već sa Zemlje bio mnogo bolje ispitan. Veći je od Merkura, a 2 puta manjeg prečnika od Venere i Zemlje. Obrne se za $24^{\text{h}} 40^{\text{m}}$, pa mu obdanica i noć traju približno kao na Zemlji. I nagib njegove obrtne osovine prema ravni putanje samo je malo veći nego kod Zemlje, pa je i tamo sličan redosled godišnjih doba, samo što su skoro dvaput duža, jer je i njegovo vreme obilaženja oko Sunca 1,88 godina. U opoziciju dodje svakih 780 dana, no najpovoljnije su za posmatranje njegove tzv. velike opozicije, kad je najbliži Zemlji (na 55 miliona km). One se redjaju naizmenično svakih 15, odnosno 17 godina (1956, 1971, 1988, ...).

Svetle oblasti pokrivaju veći deo površine. Sastavljene su od peska i minerala limonita. Vrlo jaki vetrovi izazivaju česte peščane bure, kada se na Marsu ne vide tipične pojedinosti na površini po kojima su sastavljene i njegove karte. Zbog vrlo retke at-

Osnovni podaci o planetama

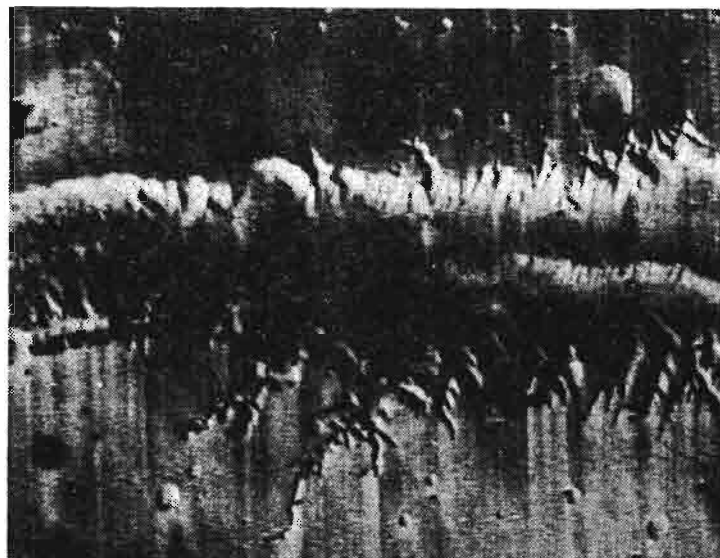
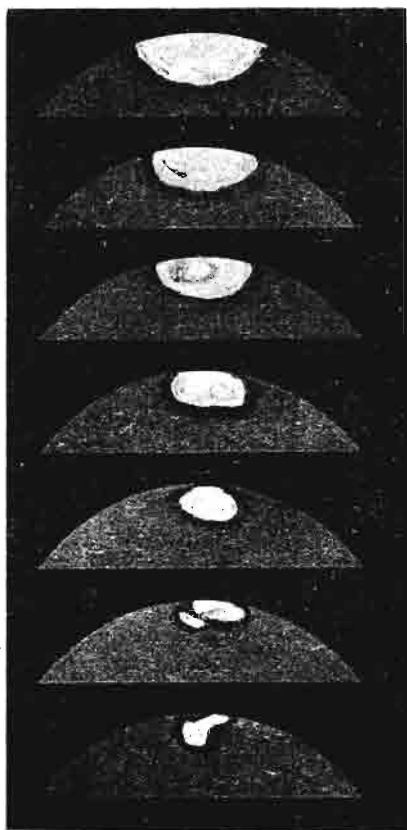
	Merkur	Venera	Zemlja	Mars	Jupiter	Saturn	Uran	Neptun	Pluton	
Sinodička revolucija u danima	116	584	-	780	399	378	370	367	367	
Siderička revolucija u sid.god.	0,24	0,62	1,00	1,88	11,86	29,46	84,01	164,78	247,70	
Trajanje rotacije	58 ^d .6	243 ^d	23 ^h 56 ^m	24 ^h 40 ^m	9 ^h 50 ^m	10 ^h 14 ^m	10 ^h 45 ^m	15 ^h 40 ^m		
Dalji- na od Sunca u A	najveća	0,467	0,728	1,017	1,666	5,455	10,071	20,096	30,328	49,263
	srednja	0,388	0,723	1,000	1,524	5,203	9,539	19,191	30,070	39,457
	najmanja	0,308	0,718	0,983	1,381	4,951	9,007	18,286	29,813	29,651
Dalji- na od Zemlje u A	najveća	2,47	1,74	-	2,67	6,45	11,07	21,10	31,33	50,25
	srednja	1,51	1,00	-	1,52	5,20	9,54	19,20	30,07	39,35
	najmanja	0,55	0,26	-	0,37	3,95	8,00	17,29	28,81	28,45
Ekvatorski poluprečnik u km	2405	6100	6378	3395	71400	60400	23800	22300	oko 3000?	
Masa Zemljina masa = 1	0,037	0,826	1,000	0,108	318,4	95,2	14,6	17,3	0,004?	
Najveća privid- na veličina	-1,2	-4,3	-	-2,8	-2,6	0,5	5,4	7,6	14,2	
Broj sa- telita	0	0	1	2	13+1?	11	5	2	1	
Gustina (g/cm ³)	5,4	5,1	5,5	3,4	1,3	0,7	1,6	3,3	1,8	
II kosmička brzina u km/s	3,8	10,2	11,2	5,0	59,5	35,5	21,2	23,5		

mosfere i sastava tla, temperaturske promene na površini u toku obdanice i noći dostižu 80°C .

Srednja dnevna temperatura površine je oko $+12^{\circ}\text{C}$, a noćna -70°C , prosečna je ispod 0°C , pa nema tekuće vode, ona je zaledjena u tlu.

Tamne oblasti, plavo-sive, toplije su 8°C od svetlih, menjaju boju s godišnjim dobima. O prirodi ovih oblasti još ništa ne znamo. Danas znamo, zahvaljujući uzorcima Marsova tla, koje su nam donele vasijske letelice, da na Marsu nema života.

Polarne kape na Marsovim polovima (sl. 88.) su najuočljivije pojedinosti. One leti kopne, a zimi se šire. Sastavljene su od ugljendioksida i vrlo malo vode.



Sl. 89. Marsova površina snimljena iz "Marinera IX". Vidi se "Veliki kanjon"

"Mariner IX" je poslao detaljne snimke sa Marsa (sl. 89.) i pokazao da od njegovih "kanala", kako su ih ranije neki astronomi "videli" i zamišljali, nema ni traga, ali je otkrio blizu njegovog ekvatora džinovski kanjon dug

Sl. 88. Topljenje Marsove polarne kape

4000 km, širok 100 km i dubok 5-6 km, kao i niz manjih. Kanali koji stvarno postoje na Marsu postali su vodenom erozijom i vulkanskom aktivnošću. "Mariner" nam je pokazao i Marsov reljef, koji se

odlikuje brojnim kraterima kao i Mesečev. Najviše su nas iznenadila 4 džinovska vulkana, od kojih je Nix Olimpica (Snegovi Olimpa) visok oko 20 km, što daleko prevazilazi Zemljin reljef. Čitav je reljef asimetričan, kao i kod svih planeta Zemljinog tipa.

Marsova atmosfera je retka i sastavljena od ugljen dioksida. Kiseonika i vodene pare ima vrlo malo. Prosečna temperatura nižih slojeva je -70°C uz dnevne promene od oko 100°C . Jonosfera je slična Zemljinoj s najvećom koncentracijom elektrona ($10^{-4}-10^{-5}$ po cm^3) na 120 km iznad površine. Radijacijskih pojaseva nema, a magnetno polje je vrlo slabo (kao i polje međuplanetnog prostora, 10^{-4} gausa).

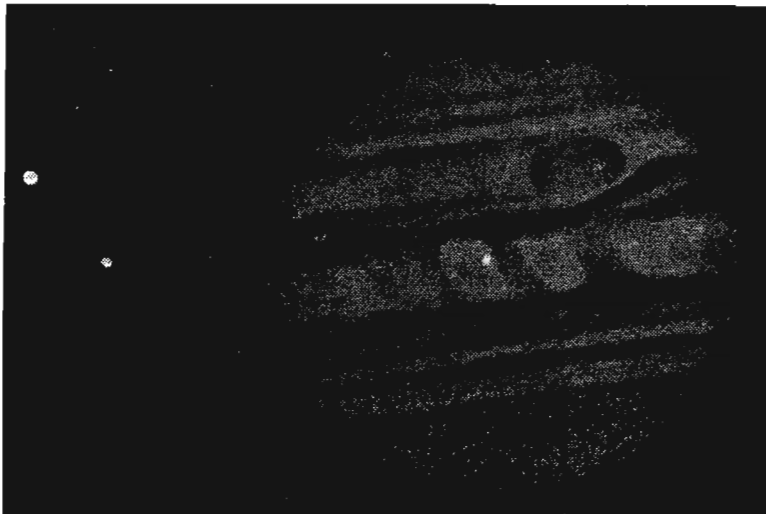
Mars ima dva satelita Fobos ($R = 20$ km) i Dejmos ($R = 10$ km), koji su stene nepravilnog oblika.

Jupiter je i po veličini i po masi najveća planeta. I u manjem teleskopu vide se tamne i svetle pruge paralelne ekvatoru i njegova karakteristična Crvena pega (sl. 90.), površine $4 \cdot 10^8$ km, koju čini brzi vrtlog atmosferskih gasova. Pruge su pojasi koji rotiraju različitim brzinama. Ona je najveća na ekvatoru gde period rotacije iznosi $9^{\text{h}}50^{\text{m}}$. Zbog ovako brzog obrtanja Jupiter ima veliku spljoštenost. Njegova srednja gustina od $1,3 \text{ g/cm}^3$ ukazuje već na

vrlo visoku atmosferu i malo vrlo gusto jezgro pod velikim pritiskom (sl.91.).

Osnovni gasovi u atmosferi su vodonik (H_2) i helijum (He), zatim neon (Ne), metan (CH_4) i amonijak (NH_3). Izuzetno je malo ugljendioksida (CO_2).

Temperatura na Jupiteru iznosi -130°C .



Sl. 90. Jupiter sa Crvenom pegom

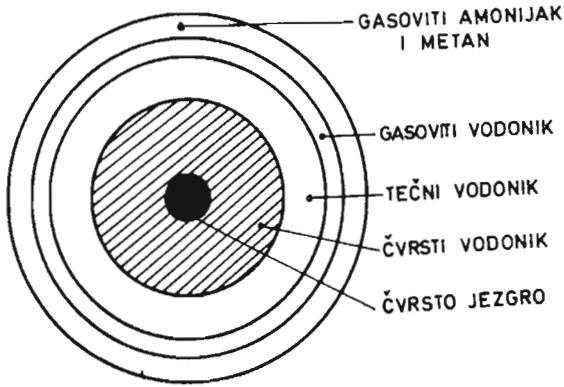
Godine 1955. je otkriveno da Jupiter, jedina od planeta, zrači radiotalase, i to intenzivno, da ima magnetno polje 10 puta jače od Zemljinog i radijacijske pojase (sl. 92.).

Vasionske letilice

"Pionir X i XI" koje su prošle blizu Jupitera 1973. g., kao i najnovije "Voidžer I i II", koje su prošle 1979. g., dale su nam nove podatke o Jupiterovoj atmosferi, prirodi Crvene pege i dr.

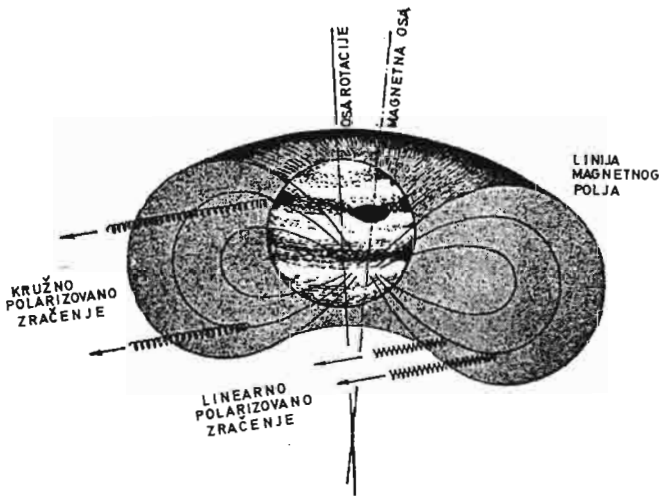
Jupiter ima 13 satelita i još jedan koji je otkriven, pa izgubljen. 4 velika bolje su proučena, ona koje je otkrio još Galilej. Tek nedavno otkriven je i njegov prsten, sličan Saturnovom, samo veoma tanak i providan.

Saturn je sa svojim pojasima rotacije sličan Jupiteru, samo nešto manji, još mu je manja srednja gustina ($0,7 \text{ g/cm}^3$), a temperatura još niža (-150°C). U atmosferi se zapažaju samo molekularni vodonik i metan. Brzina rotacije mu je velika ($10^h 14^m$) pa i spljoštenost koja od nje dolazi. Najtipičnija mu je odlika veliki prsten (sl. 93.), sastavljen iz



Sl. 91. Shema Jupiterove gradje

Sl. 92. Jupiterovo magnetno polje i radijacijski pojasi

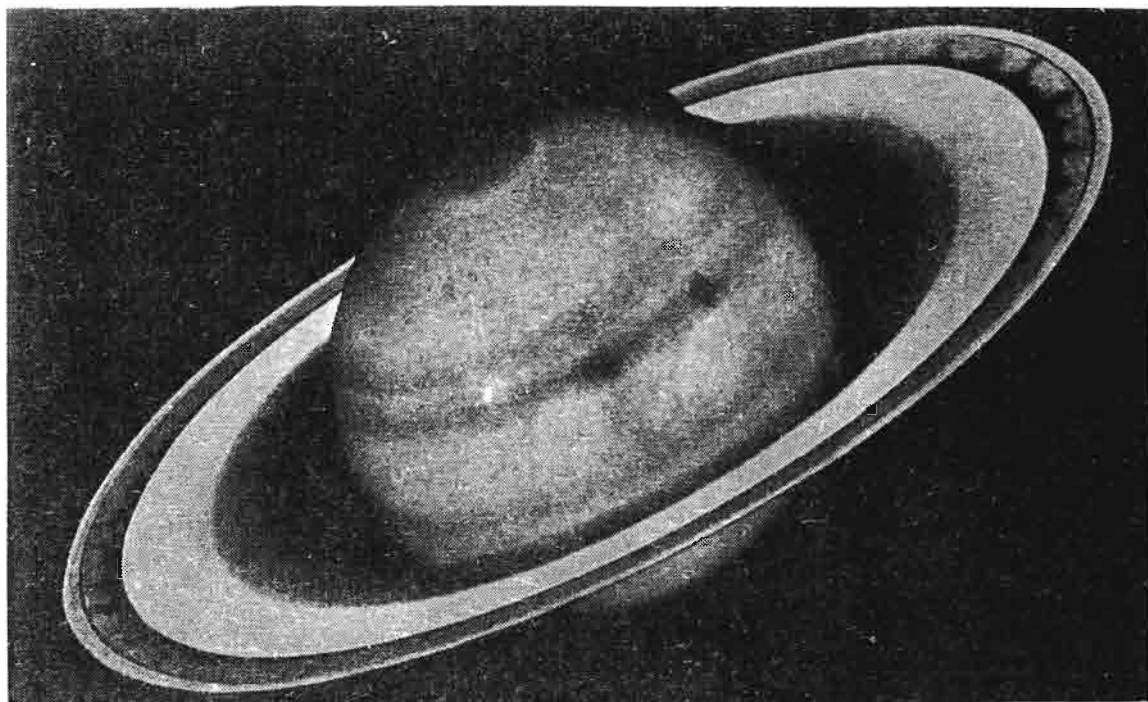


Sl. 92. Jupiterovo magnetno polje i radijacijski pojasi

4 koncentrična prstena. Debeo je oko 20 km, a sastoji se od sitnih odelitnih stena koje se kreću samostalno po Keplerovim zakonima. Od "Voidžera" očekujemo nove podatke o Saturnu kada stigne u njegovu blizinu 1980. g.

Saturn ima 11 satelita, od kojih je poslednji tek nedavno pronadjen. Najveći, Titan ($R=240 \text{ km}$) ima atmosferu.

Uran i Neptun su veoma udaljene džinovske planete, još manje od Saturna i nedovoljno ispitane. I one imaju karakteristične pruge paralelne ekvatoru, pa verovatno i zonsku protaciju velike brzine. I Uran ima prsten, koji se jedva može detektovati najoset-



Sl. 93. Saturn sa prstenom

ljivijim instrumentima. Temperature ovih planeta su -170°C , odnosno -200°C . Atmosfere su im slične Jupiterovoj. Sastavljene uglavnom od metana i vodonika.

Uran ima 5 satelita, a Neptun 2. Veći od ova dva, Triton ($R=2000$ km), ima atmosferu irotira u suprotnom smeru od planete. Smatra se zato da je zahvaćen spolja Neptunovom gravitacijom, a da nema zajedničko poreklo sa planetom.

Pluton je najdalja planeta, otkrivena tek 1930. g. Sasvim je neispitana, pa i podaci u gornjem pregledu za njega nisu sigurni. Do skoro se smatralo da po fizičkim odlikama pripada Zemljinoj grupi planeta, no po najnovijim istraživanjima izgleda da i on pripada Jupiterovoj grupi, samo je nešto manji. Ima mišljenja da je i on zahvaćen spolja u Sunčev sistem. Otkriven je po odstupanjima Ura- na i Neptuna od njihovih predvidjenih kretanja.

Godine 1978. otkriven je Plutonov satelit.

8.8. Odlike manjih tela Sunčevog sistema: planetoida, kometa, meteora, meteorita, međjuplanetske materije

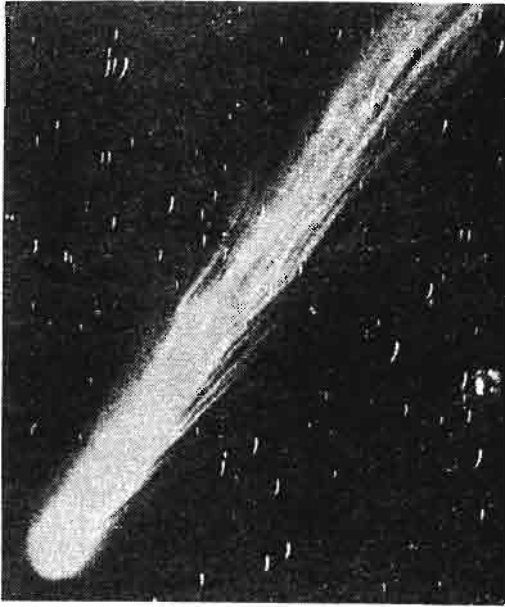
Planetoidi (asteroidi) su male planete koje se uglavnom

kreću u velikoj praznini između Marsove i Jupiterove putanje. Prvi je otkriven Ceres ($R=400$ km) 1.I 1801. g. On je i najveći. Do danas ih je otkriveno preko 5000, a ispitano oko 2000. Stenoviti su i većinom nepravilnog oblika, bez atmosfera. Smatra se da ih ima 480 hiljada (sa $R= 800$ m) i da po veličini neprekidno prelaze u međjuplanetsku prašinu. Ima ih nekoliko koji zalaze i u unutrašnjost Zemljine putanje, pa su podesni za precizno određivanje Sunčeve paralakse. Preko 20 ih je otkriveno na Astronomskoj opservatoriji u Beogradu (Srbija, Jugoslavija, Beograd, Tito, Simonida i dr.). Na sl. 94. prikazan je po veličini prosečan planetoid prema jednom delu Beograda.



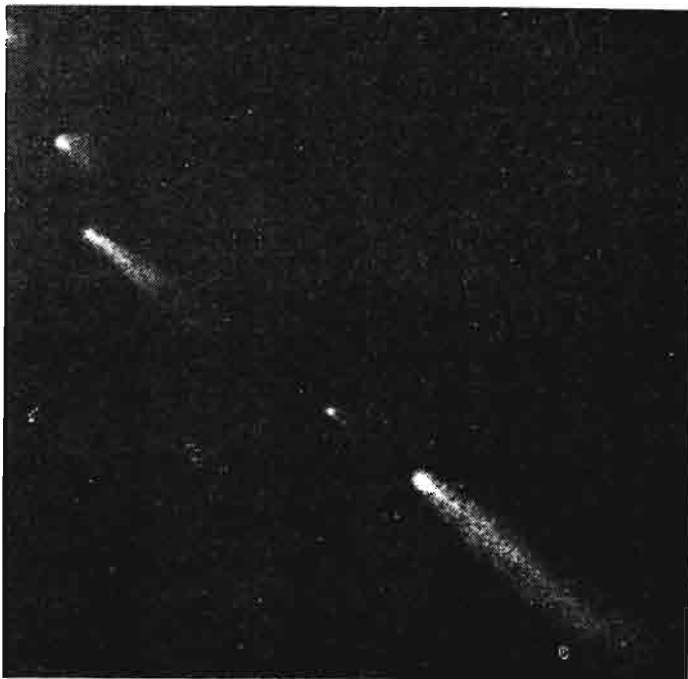
Sl. 94. Veličina jednog asteroida prema delu grada (oko 3 km)

Komete (sl. 95.) su neobična tela koja su u neprosvećena vremena izazivala u sujevernom narodu strah i trepet i smatrane predznakom Božijega gneva. Danas su one naučno ispitane. Sa sjajnim zgušnjem - jezgrom, obavijenim magličastom komom i često s dugim repom okrenutim uvek od Sunca (sl. 97.) čije čestice odbija i razvejava Sunčevo zračenje, one se vide kad se iz dubine Vasiona približe Zemlji i Suncu. Prate se izvesno vreme i zatim se opet udalje



Sl. 95. Fotografija sjajne komete. Pri snimanju kamera je pratila kometu u njenom kretanju zato su likovi zvezda izduženi u svetle linije

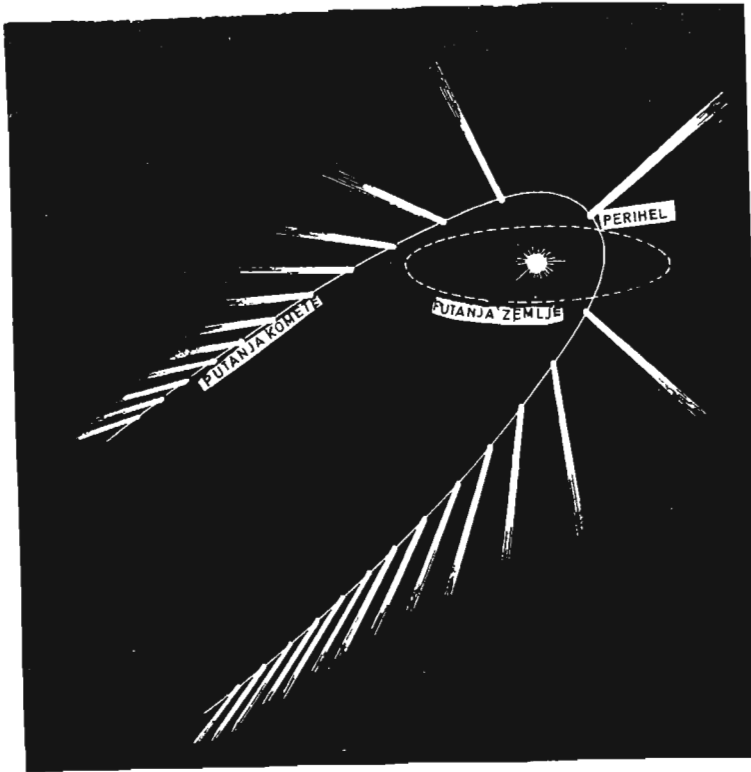
terijalno utvrđenih činjenica jasno je da ni sudar Zemlje sa kometom ne bi izazvao nikakve teže posledice.



Sl. 96. Raspad Bruksove komete iz 1889. g.

na svojim izduženim putanjama i postanu nevidljive. Jezgro sa kometom zove se glava komete i ona može imati 20000-50000 km u prečniku. Po tome što ne izazivaju ni najmanji poremećaj u kretanju i najsitnijih tela Sunčevog sistema izračunato je da po masi ne prelaze 10^{-6} Zemljine mase ili $6 \cdot 10^{-21}$ g. Znači da im je gustina izvanredno mala. Ustvari komete su rojevi sitnijeg vasionkog kamenja koje je sa međuplanetskim gasovima i prašinom zamrznuto u ogromne lopte. Kad se približe Suncu, oslobadjaaju se gasovi i obrazuju komu i rep. Ti su gasovi: amonijak (NH_3), vodena para (H_2O) i metan (CH_4). Iz ovih ma-

Komete se dele na periodične i neperiodične, tj. na one koje se kreću po izduženim eliptičnim putanjama i pripadaju Sunčevom sistemu i one koje se kreću po paraboličnim putanjama i dolaze iz dubina Vasionone. Od 600 do danas



Sl. 97. Repovi komete su uvek okrenuti od Sunca

kometa se raspada (sl. 96 .) u meteorski roj koji nastavlja kretanje

ispitanih kometa oko 100 ima periode kraće od 200 godina. Poznata je Enkeova kometa s periodom od samo 3,3 g., no najpoznatija je sjajna Halejeva kometa s periodom od oko 76 g. Poslednji put je vidjena 1910.g., a očekujemo njen povratak 1986. g.

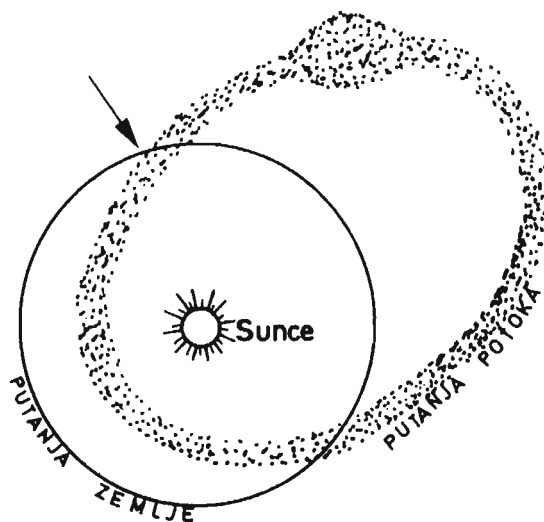
Nije tačno poznato kako postaju, ali se zna kako se razvijaju i nestaju komete. Posle više povratka njihovi sastavni delovi se međusobno razdvajaju,



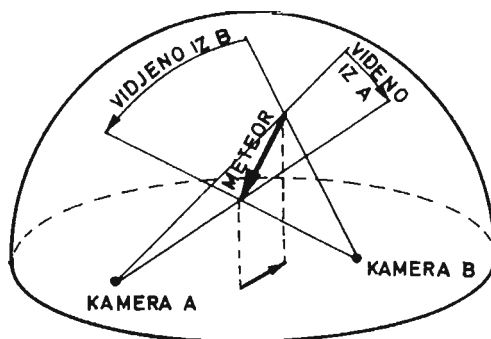
Sl. 98. Meteorski pljusak

po istoj putanji. Kad Zemlja sa svojom atmosferom udje u meteorski roj, njegovi se komadi stena usijaju od trenja u vazduhu i zasvetle - to je meteorski pljusak (sl. 98.). U toku daljeg vremena meteorski roj se rastura ravnomerno po celoj putanji. Kometa prestaje da postoji a postaje meteorski potok, i on se vidi kad Zemljina putanja preseče njegovu putanju u vidu povećanog broja meteora tih noći.

Dva poznata meteorska roja su Perseidi i Leonidi. Ime su dobili po sazveždima iz kojih prividno izvire. Vide se svake godine - Perseidi od 10.-12. avgusta, a Leonidi od 16.-17. novembra. Dok su Perseidi već ravnomerno raspoređeni po svojoj putanji, Leonidi imaju zgušnjene (sl. 99.) s kojim se Zemlja sretne svake 33-34 godine kada se vidi meteorski pljusak.



Sl. 99. Meteorski roj Leonida sa zgušnjnjem na putanji



Sl. 100. Optičko merenje visina meteora

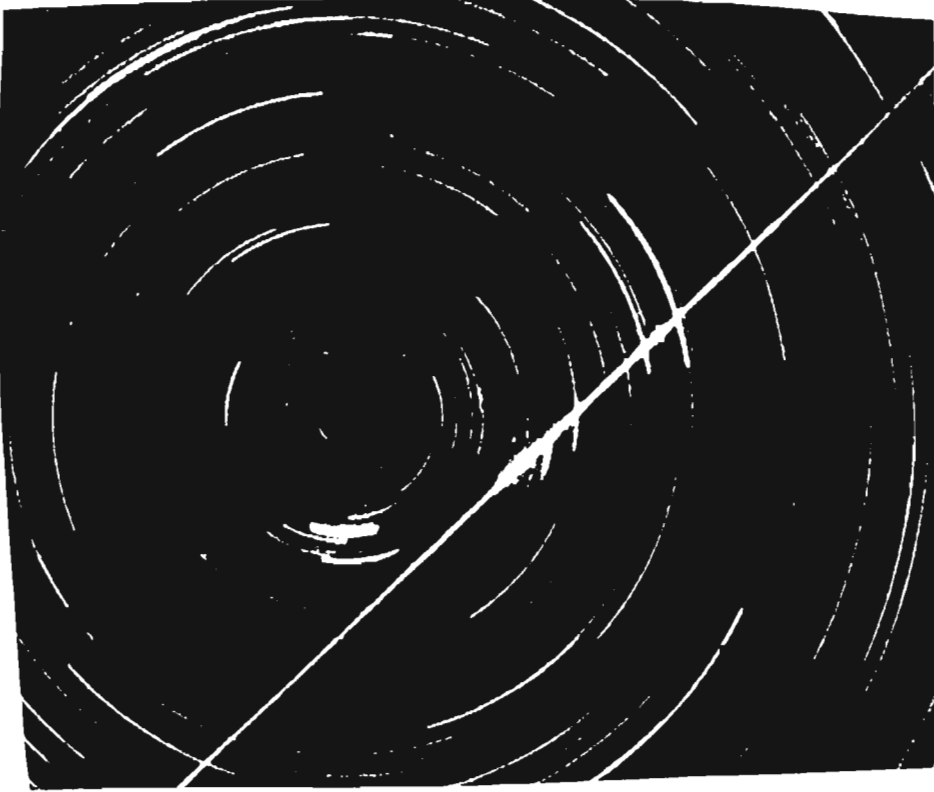
Meteori, bolidi i meteoriti

Kada se posle mnogo vekova meteori rasture sa svoje putanje, dospevaju u međuplanetski prostor koji je njima ispunjen. Ima ih razne veličine, od 0,1 mm do 10 cm u prečniku. S vremena na vreme uleću u Zemljinu atmosferu. Od trenja se usijaju do 2500°C i postaju vidljivi tek na visini od oko 120 km. Spuštaju se do 70 km visine gde sagorevaju i gase se.

Istovremenim posmatranjem iz dve tačke A. i B. (sl. 100.), obično na rastojanju od oko 50 km, određuje se njihova projekcija na nebesku sferu odakle se izračunava njihova visina pojavljivanja i gašenja. One se poslednjih decenija određuju i radarski. Tako su

otkriveni i mnogi novi nevidljivi meteorski rojevi koji kruže oko Sunca.

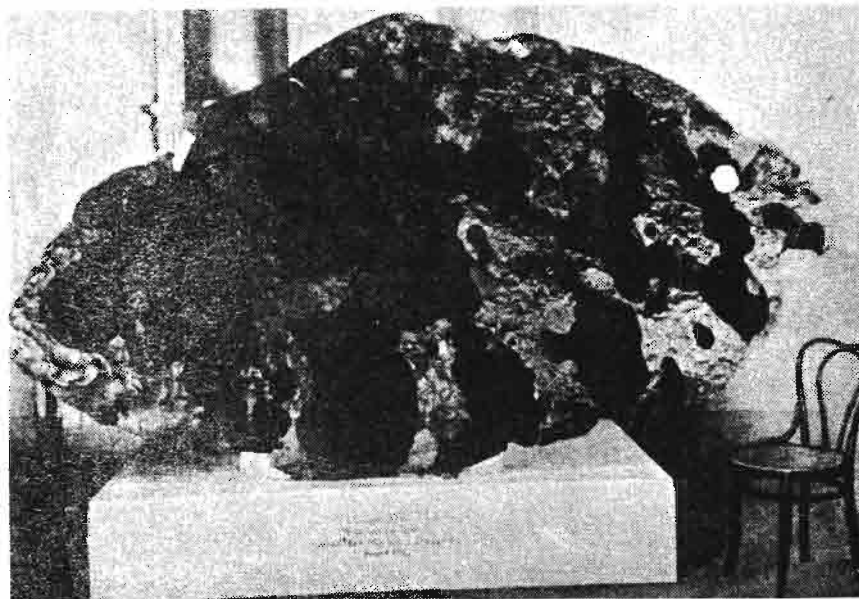
Meteori se, prema njihovom spektru, sastoje od gvoždja, magnezijuma, i silikona. Prosečna gustina je $0,5 \text{ g/cm}^3$. Od rastresitog su materijala, te zato od njih i ne stiže nikad ništa na Zemlju, do ponekad fine prašine koja je otkrivena na velikim morskim i snežnim površinama.



Sl. 101. Bolid

Izuzetno se ponekad javi veoma svetlo telo koje eksplodira u atmosferi, (sl. 101.). To je bolid. Smatra se da oni ne potiču od kometa, već od sitnih asteroida u raspadanju. Od njih ponekad i do Zemlje stigne veći ili manji komad - meteorit (sl. 102.). Njih je danas otkriveno na Zemlji oko 1600. Analizom je dokazano da su od istog materijala kao i Zemlja, što je snažno potvrdilo da postoji jedinstvo materije u Vasioni. Danas to pokazuju već i uzorci doneti s drugih nebeskih tela. Meteoriti mogu biti gvozdeni, gvozdeno-kameni i kameni. Čuvaju se u prirodnjačkim muzejima. Oni koji su nadjeni na teritoriji Srbije nalaze se u Prirodnjačkom muzeju u Beogradu.

Padovi velikih meteorita, iako izvanredno retki, često su



Sl. 102. Meteorit



Sl. 103. Zodijska svetlost
u vidu poluelipse u rasejanoj Sunčevoj svetlosti. To je tzv. Zodijska svetlost (sl. 103.).

Zodijska svetlost se delimično sastoji i od elektrona Sunčeve korone koja dopire i do same Zemlje, no koja tu ima gustinu od samo 1-10 čestica po cm^3 . Medjuplanetski prostor, pa i onaj oko Zemlje, kao što smo videli, ispunjavaju i čestice koje nam takozvani Sunčev vetar donosi iz Sunčeve korone i erupcija.

dramatični. Stvaraju velike kratere, a pri padu pokose čitave šume. Takvi su bili napr. meteoriti: Barindžer u Arizoni (pao 5000. g. pre n.e. Tunguski (pao u Sibiru 1908. g.), Sihotealinski (pao na Dalekom Istoku 1947. g.) i dr.

Medjuplanetska materija, koja je veoma retka i kojom je ispunjen ceo Sunčev sistem, sastoji se iz mikrometeora, 2-20 mikrona prečnika, kosmičke prašine i gasova. Najviše je ima oko ekliptike, gde je koncentrisana masa Sunčevog sistema. U tropskim oblastima, pod povoljnim uslovima, vidi se ona

8.9. Poreklo i razvoj Sunčevog sistema

Postanak Sunčevog sistema je vrlo star ali i težak problem, koji ni danas nije konačno rešen. U XVIII veku su Kant i Laplas postavili prve hipoteze, a do danas ih je s razvojem nauke predložen veliki broj, no nijedna ne može da objasni sve pojedinosti u Sunčevom sistemu. U glavnim crtama sve se one svode na sledeću sumarnu sliku.

Sunčev sistem je počeo da se obrazuje pre 5 milijardi godina u jednom oblaku kosmičke materije gravitacijskim sažimanjem. Usled sažimanja i rotacije oblak je dobio oblik diska, a u njegovom središtu temperatura je naglo porasla, do nekih 15 miliona stepena. To je izazvalo reakciju spajanja vodoničkih atoma u helijumove. Deo mase sistema pri tom se pretvorio u energiju koja se stavila na suprot sažimanju i stvorila izvesno ravnotežno stanje - rodjeno je Sunce. Od ostatka kosmičke materije daljim sažimanjem se obrazuju planete. Iz Sunčeve okoline laki gasovi - vodonik i helijum, bili su "oduvani" prema periferiji Sunčeve magline. Tako su se razvile zemljolike i jupiterolike planete. Prve, zbog malih masa, nisu mogle zadržati ni ostatke lakih gasova u svojim atmosferama. Iz istog razloga one su se brže ohladile. Njihove gravitacije nisu bile dovoljne da savladaju međjumolekulske elastične sile i tako su stvoreni njihovi današnji ravnotežni oblici.

Z a d a c i

1. Koliko bi trebalo vremena mlaznom avionu brzine 1000 km/h da obleti Sunce, Zemlju, Mesec, Jupiter?
2. Jedan od maksimuma Sunčevih pega bio je 1938. g. Nadji periode maksimuma i minimuma u razmaku od 1938.-1980. g.
3. Koliki je uglovni prečnik Sunčeve pege čiji je pravi prečnik jednak Zemljinom?
4. Ako znamo da se najmanji predmet vidljiv golim okom vidi pod uglom od $1'$, izračunati pravi prečnik najmanje Sunčeve pege vidljive golim okom kroz nagravljeno staklo.

5. S koje će daljine moreplovac ugledati svetionik visok 25 m?
6. Mesec za posmatrača sa Zemlje zalazi najmanje 2^m . Koliko vremena zalazi Zemlja za astronauta koji je posmatra sa Meseca? (približno).
7. Koliko je puta Zemlja slabije osvetljena punim Mesecom nego Suncem, ako znamo njihove prividne veličine?
8. Ako čovečje oko može da razlikuje pojedinosti pod uglom od $1'$, izračunaj dimenzije najsitnijih predmeta vidljivih na Marsu, (kad je najbliži Zemlji) školskim teleskopom s uveličanjem od 100 puta i Maunt Palomarskim sa uveličanjem 3000 puta.
9. Opiši klimatske uslove na Jupiteru, čija je polarna osovina skoro upravna na ravni njegove putanje i klimatske uslove na Uranu, čija polarna osovina skoro leži u ravni njegove putanje.
10. Kojim bi se posmatranjem moglo dokazati da se komete ne nalaze u Zemljinj atmosferi, kao što se ranije mislilo?
11. Meteor iz potoka Leonida imaju tačku iz koje prividno izvire (radijant) s rektrascenzijom 10^h i posmatrani su 14. novembra. U koje doba dana su posmatrani?

P o s m a t r a n j a

Za položaje nebeskih tela i druge podatke o njima koristi astronomske efemeride u časopisu "Vasiona" i "Astronomski atlas".

1. Napravi sam držač za beli ekran i projektuj na nj lik Sunca kroz školski teleskop. Uoči koliko je pega i grupa pega na njemu. Da li se vide sjajne fakule? Ucrtaj pege i pekule na listu bele hartije koji ćeš staviti na ekran.

2. Posmatraj Mesec kroz školski teleskop s uveličanjem oko 100 puta, i to oko prve ili poslednje četvrti. Uoči i nacrtaj najupadljivije oblike njegove površine i uporedi ih s kartom Meseca. Pokušaj da iz dužina senki izračunaš visine bregova blizu terminatora.

3. Posmatraj školskim teleskopom s manjim uveličanjem Veneru izmedju elongacije i donje konjunkcije nekoliko večeri. Poku-

šaj da zapaziš smenu njenih faza i konture njene površine.

4. Posmatraj školskim teleskopom s većim uveličanjem Jupiter. Nacrtaj šta si zapazio na njegovoj površini, kao i položaje njegova prva četiri satelita. Ponovi posmatranje dva-tri puta u razmacima od po pola časa i ucrtaj karakteristične pojedinosti na planetinoj površini i promene položaja satelita. Izvedi vreme rotacije planete i način kretanja satelita. Pokušaj da zapaziš i štopericom zabeležiš vreme pomračenja nekog od satelita ili vreme nailaska nekog satelita ispred planetina kotura.

5. Posmatraj na većem teleskopu (napr. na najbližoj Narodnoj opservatoriji), s većim uveličanjem, Mars ili Saturn. Zapazi sve pojedinosti u vezi s ovim planetama i nacrtaj ih.

6. U vreme maksimuma Perseida ili Leonida posmatraj i ucrtaj u kopiju zvezdane karte njihove tragove i beleži vreme pojave pojedinih meteora i njihovo trajanje. Izvedi približan položaj radijanta.

7. Poseti s drugaricama i drugovima iz razreda Prirodnjački muzej i razgledaj sakupljene meteorite, pale na teritoriji naše zemlje. Uoči njihov oblik i boju! Da li se na njihovoj površini za- pažaju kakve figure?

GLAVA IX

Z V E Z D E

9.1. Prividne i apsolutne veličine zvezda

Zvezde su gasovite usijane lopte različitih fizičkih odlika. Jedna od prvih i najupadljivijih je njihov sjaj, gde se pod sjajem u astronomiji podrazumeva njihova osvetljenost.

Još su starogrčki astronomi sve zvezde vidljive golim okom svrstali po stepenu sjaja u 6 prividnih veličina - najsjajnije u prvu, a one slabije, na granici vidljivosti golim okom, u šestu. Kad su u prošlom veku fotometrijski tačno određene prividne veličine ovih zvezda, pokazalo se da je svaka naredna prividna veličina 2,5 puta slabija od prethodne.

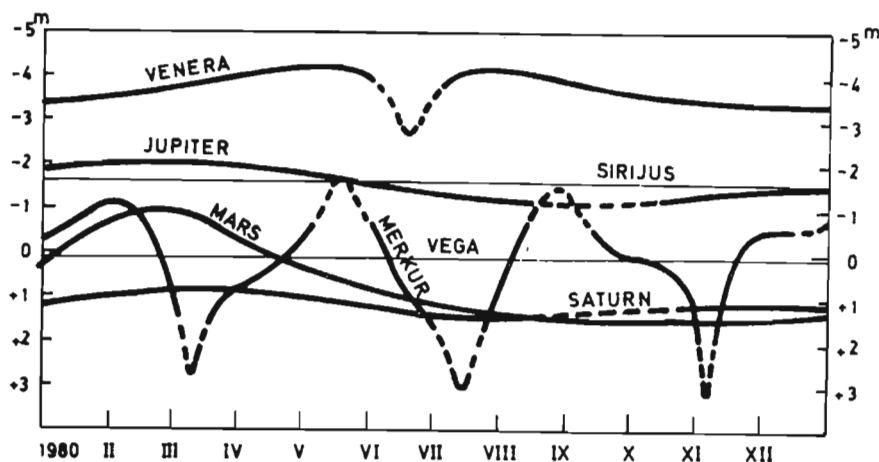
U toj epohi je otkriven i Veber-Fehnerov zakon,

$$E = C^m,$$

koji vezuje jačinu osećaja E za jačinu nadražaja m kod svih čovekovih čula. Ako za E uzmemo sjaj zvezde, m bi bila upravo njena prividna veličina, a konstanta $C = 2,5$.

Posle preciznih merenja prividnih veličina videlo se da su neke od najsjajnijih zvezda sjajnije i od prve prividne veličine, pa je za njih, za sjajne planete, Mesec i Sunce, skala prividnih veličina produžena i u negativnom smeru, a za sasvim slabe zvezde, koje se vide samo manjim ili većim teleskopima, skala je produžena i dalje od 6. prividne veličine. Tako npr. imamo prividne veličine za Sirijus - 1,6, Veneru u najvećem sjaju - 4,4, pun Mesec - 12,6 i Sunce - 26,8, a za zvezde vidljive najvećim današnjim teleskopom, uz upotrebu fotoploče, prividnu veličinu +25. Na sl. 104. dati su razmaci u kojima se kreću prividne veličine sjajnih planeta u odnosu na prividne veličine nekih sjajnih zvezda.

Zvezda može imati manju prividnu veličinu, znači biti sjajnija, ili zato što je zaista vrlo sjajna, tj. zato što jače zrači,



Sl. 104. Razmaci u kojima se kreću prividne veličine planeta prema priv. vel. sjajnih zvezda

ili zato što je bliža od neke druge zvezde. Da bismo mogli da poređimo sjaj zvezda, trebalo bi da ih dovodimo na istu daljinu od nas. To se, međutim, može postići računski preko pojma apsolutne veličine zvezde: apsolutna zvezdana veličina je ona prividna veličina koju bi zvezda imala na daljini od 10 parseka. Znači, za određivanje apsolutne veličine potrebno je da znamo, osim njene prividne veličine, i daljinu zvezde. Apsolutne veličine označavaćemo sa M .

Iz merene prividne veličine m , apsolutnu veličinu M možemo izračunati na ovaj način: ako sa E_M , odnosno E_m , obeležimo sjaj zvezde koji odgovara apsolutnoj, odnosno prividnoj njenoj veličini, poslednji obrazac daje za oba slučaja:

$$E_M = 2,5^M, \text{ odn. } E_m = 2,5^m.$$

Ako podelimo prvi drugim i zatim jednačinu logaritmišemo, dobićemo izraz

$$\log \frac{E_M}{E_m} = 0,4 (m - M)$$

iz koga je lako izračunati M iz merenog m . Veličine E_M i E_m možemo naći iz izraza

$$E_M = \frac{k}{\Delta_0^2} = kp_0^2, \text{ odn. } E_m = \frac{k}{\Delta^2} = kp^2,$$

pa ih uvrstiti u gornju jednačinu za određivanje apsolutne veličine. Poslednji izrazi postaju jasni ako se setimo iz fizike da sjaj opada sa kvadratom daljine Δ , ako zanemarimo malu apsorpciju energije na putu od zvezde do nas. k je koeficijent proporcionalnosti

koji se u količniku skraćuje.

Sunce, čija je prividna veličina - 26,8, ima tako apsolutnu veličinu +4,8, a Sirijus $m = -1,58$ i $M = +1,3$. Vidimo, dakle, da je blizina Sunca uzrok njegovoj prividnoj veličini, što smo i pretpostavljali.

9.2. Odredjivanje daljina i pravih veličina zvezda iz zakona zračenja

Ako obeležimo sa L ukupnu energiju zračenja zvezde sa daljine Δ , njen sjaj E je ukupna energija njenog zračenja koja na Zemlju stiže u 1^s na 1 cm^2 površine upravne na pravac prostiranja zračenja. Tada su ove veličine očigledno vezane izrazom:

$$E = \frac{L}{4 \pi \Delta^2}$$

Kako iz 9.1. znamo da je $E = 2,5^{-m}$, to upoređivanjem dobivamo izraz

$$L = 4 \pi \cdot 2,5^m \cdot \Delta^2$$

iz koga možemo izračunati za svaku zvezdu u našem Zvezdanom sistemu daljinu Δ , ako joj izmerimo fotometrijski prividnu veličinu m i na odgovarajući način nadjemo ukupnu energiju njenog zračenja L .

Iz ukupnog zračenja L možemo naći i pravu veličinu zvezde, tj. njen poluprečnik R na ovaj način. Ukupna energija W zračenja sa 1 cm^2 na površini zvezde poluprečnika R i ukupna energija zračenja L vezane su očigledno izrazom:

$$W = \frac{L}{4 \pi R^2} \cdot$$

Ako se, s druge strane, setimo Stefan-Bolcmanovog zakona iz fizike, koji povezuje apsolutnu temperaturu tela T sa ukupnom energijom njegovog zračenja W sa površine od $1 \text{ cm}^2/\text{sec}$:

$$W = \sigma T^4,$$

gde je σ konstanta, pa poslednja dva izraza uporedimo, dobićemo za izračunavanje pravog poluprečnika zvezde R izraz:

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

koji se u količniku skraćuje.

Sunce, čija je prividna veličina - 26,8, ima tako apsolutnu veličinu +4,8, a Sirijus $m = -1,58$ i $M = +1,3$. Vidimo, dakle, da je blizina Sunca uzrok njegovoj prividnoj veličini, što smo i pretpostavljali.

9.2. Odredjivanje daljina i pravih veličina zvezda iz zakona zračenja

Ako obeležimo sa L ukupnu energiju zračenja zvezde sa daljine Δ , njen sjaj E je ukupna energija njenog zračenja koja na Zemlju stiže u 1^s na 1 cm^2 površine upravne na pravac prostiranja zračenja. Tada su ove veličine očigledno vezane izrazom:

$$E = \frac{L}{4 \pi \Delta^2}$$

Kako iz 9.1. znamo da je $E = 2,5^{-m}$, to uporedjivanjem dobivamo izraz

$$L = 4 \pi \cdot 2,5^m \cdot \Delta^2$$

iz koga možemo izračunati za svaku zvezdu u našem Zvezdanom sistemu daljinu Δ , ako joj izmerimo fotometrijski prividnu veličinu m i na odgovarajući način nadjemo ukupnu energiju njenog zračenja L .

Iz ukupnog zračenja L možemo naći i pravu veličinu zvezde, tj. njen poluprečnik R na ovaj način. Ukupna energija W zračenja sa 1 cm^2 na površini zvezde poluprečnika R i ukupna energija zračenja L vezane su očigledno izrazom:

$$W = \frac{L}{4 \pi R^2} \cdot$$

Ako se, s druge strane, setimo Stefan-Bolcmanovog zakona iz fizike, koji povezuje apsolutnu temperaturu tela T sa ukupnom energijom njegovog zračenja W sa površine od $1 \text{ cm}^2/\text{sec}$:

$$W = \sigma T^4,$$

gde je σ konstanta, pa poslednja dva izraza uporedimo, dobićemo za izračunavanje pravog poluprečnika zvezde R izraz:

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

U njemu L znamo kao i gore, a T dobivamo iz spektra zvezde. Temperatura T se zove efektivna temperatura.

Za Sunce smo obrnuto, iz poznatih L i R izračunali efektivnu temperaturu fotosfere i za nju dobili iznos 5800°K koji se dobro slaže sa ranije dobijenim na drugi način.

Samo za nekoliko zvezda, zbog ogromne daljine, poluprečnici su neposredno izmereni optičkim interferometrom. Gornja metoda, međjutim, pruža mogućnost da iz zračenja svake zvezde izračunamo, na prost način, ne samo njenu daljinu, već i pravu veličinu.

9.3. Sopstvena kretanja i prostorne brzine zvezda

Osim prividnog kretanja zvezda, usled Zemljine rotacije i revolucije, postoji i pravo kretanje zvezda u različitim pravcima u prostoru. Kretanje zvezda je vrlo brzo, ali zbog ogromnih rastojanja medju zvezdama nama izgleda da se one vrlo sporo kreću. Zbog toga je potreban duži vremenski period da se znatnije izmeni njihov međusobni položaj, što prikazuje slika 105.

Ako je poznata njihova daljina, kretanje zvezda u prostoru može da se odredi pomoću radijalnih brzina i pomoću sopstvenih kretanja zvezda (sl. 106.).

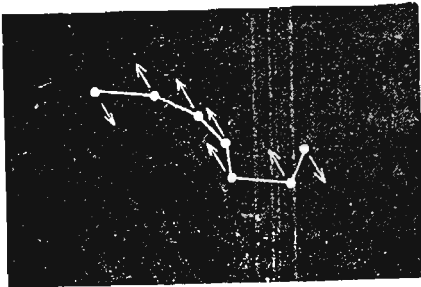
Radijalna brzina je brzina kojom se zvezda približuje ili udaljuje od nas. To je veličina koja ne zavisi od daljine zvezde. Ona se određuje na osnovi Doplerovog efekta, koji je poznat iz fizike.

Sopstveno kretanje je promena pravca pod kojim vidimo zvezdu ili promena položaja zvezde na nebeskoj sferi u toku jedne godine. To je uglovna veličina i ona je utoliko manja ukoliko je daljina zvezde veća. Sopstveno kretanje zvezda meri se upoređenjem međusobnog položaja zvezda u dužem vremenskom razmaku, najčešće se koriste fotografski snimci istog dela neba u što dužim vremenskim razmacima.

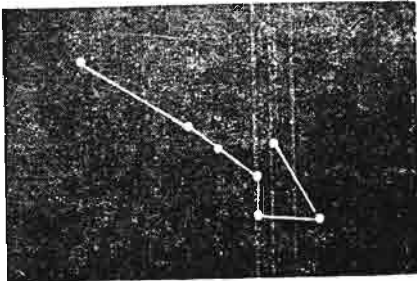
Brzine kretanja većine zvezda u odnosu na Sunčev sistem su velike. One iznose 10-50 km/s. Uz pomoć sl. 106 izvedi obrazac za prostorno kretanje zvezde!

Kretanje Sunčevog sistema. Kretanje zvezda u prostoru određivali smo prema posmatraču sa Zemlje ili sa Sunca, što je u odnosu na zvezdane daljine isto. Međjutim, i Sunce je zvezda koja se kreće

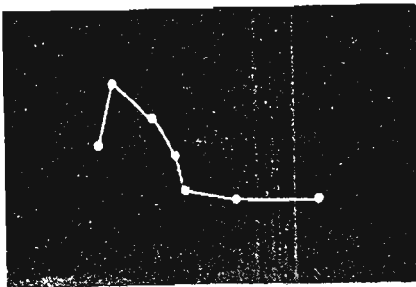
u odnosu na okolne zvezde. Da bismo izvršili potrebne popravke u određenim kretanjima zvezda moramo znati kako se kreće Sunce.



a

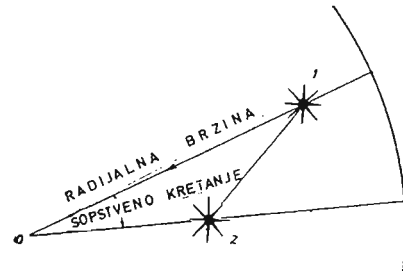


b



c

Sl. 105. Veliki Medved:
a) danas; b) pre
50000 god; c) po-
sle 50000 g.



Sl. 106. Sopstveno kretanje
i radijalna brzina
zvezde

Još 1783. god. Heršel je primetio da se u pravcu sazveždja Herkula nalazi jedna tačka iz koje nam izgleda kao da se sve zvezde razilaze. Iz toga je sasvim tačno zaključio da Sunce sa celim Planet-skim sistemom mora da se kreće u tom pravcu. Tačka prema kojoj se kreće Sunce nazvana je apeks. Savremena merenja pokazuju da se Sunce zaista kreće u odnosu na okolne zvezde brzinom od oko 20 km/s prema apeksu ($\alpha = 19^h$, $\delta = +36^\circ$) koji se nalazi između sazveždja Lira i Herkul.

9.4. Hemijski sastav, fizičke osobine i tipovi zvezda

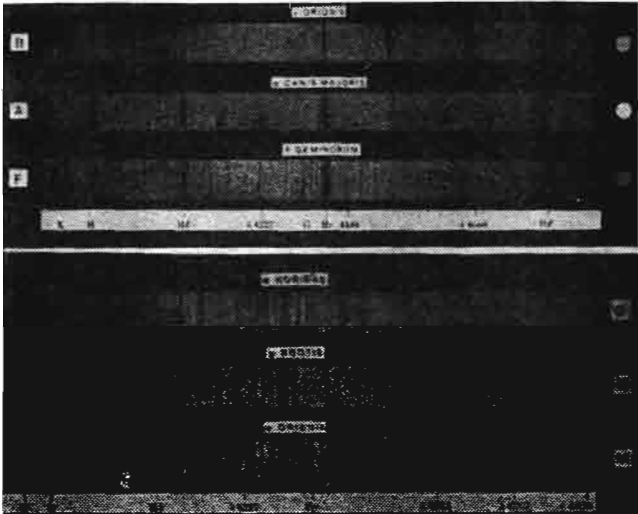
Iz spektara se saznaju mnoge fizičke osobine zvezda. Spektari zvezda su vrlo različiti, što uglavnom zavisi od temperature zvezdanih atmosfera. Što je viša temperatura zvezdanog omotača, to se maksimum zračenja pomera ka kraćim talasima. Zbog toga nam neke zvezde izgledaju crvene ili žute, a neke bele ili plave. Zvezdani spektri i poznati zakoni zračenja (Stefan-Bolcmanov, Plankov, Vinnov) pomažu nam da otkrijemo stanja gasova na zvezdama.

Na osnovi spektara izradjena je klasifikacija po kojoj pojedine spektralne klase imaju sledeće oznake:

O - B - A - F - G - K - M

Temperatura u ovom nizu opada sleva nadesno od 50000 - 2000°C. Navedene temperature, odnose se na zvezdane atmosfere, a ne na unutrašnjosti zvezda, jer i spektri potiču iz atmosfera. Ova veoma važna fizička klasifikacija zvezda za osnovni kriterijum ima - temperaturu. 90% svih zvezda pripada klasama od B do M. Klasi O pripadaju malobrojne najtoplije zvezde. U novije vreme ova klasifikacija ima još detaljniju podelu.

Po hemijskom sastavu najveći broj zvezda se malo razlikuje jedna od druge, bez obzira na to kojoj klasi pripadaju. Kao i kod Sunca, vodonik i helijum su najzastupljeniji elementi i kod drugih zvezda. Na sl. 107. dati su spektri zvezda glavnih spektralnih klasa.



1. Spektar zvezde Orionis - spektar tipa B; zvezde Canis Maioris - spektar tipa A; zvezde Geminorum - spektar tipa F.
2. Spektar zvezde Aurigae - spektralnog tipa G; zvezde Bootis - spektralnog tipa K i zvezde Orionis - spektralnog tipa M.

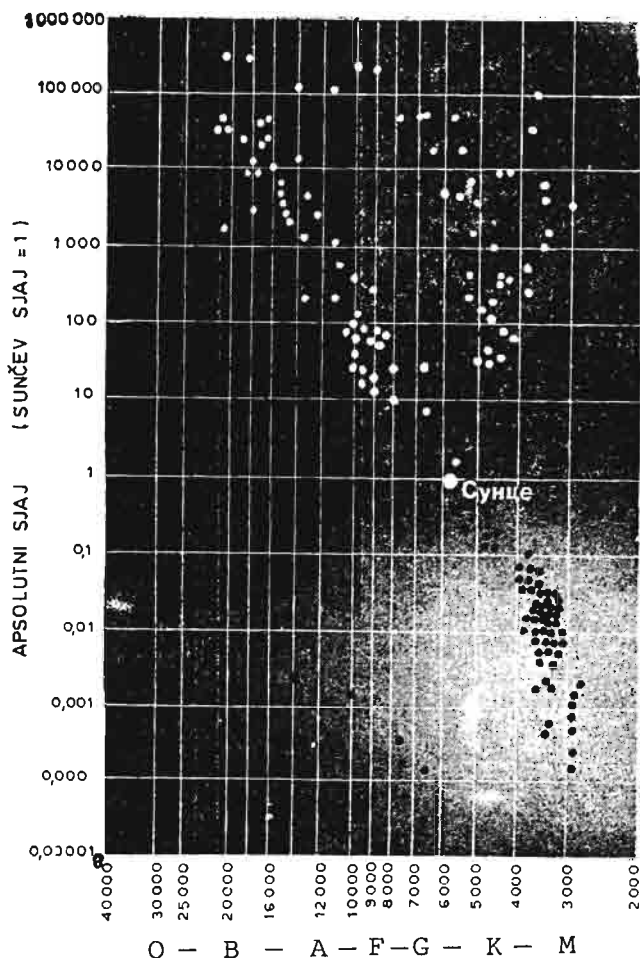
Sl. 107. Spektri zvezda različitih tipova

9.5. Hercšprung-Raselov dijagram

Početkom ovog veka danski astronom Hercšprung ustanovio je da postoji veza između temperature i apsolutne zvezdane veličine, odnosno sjaja zvezde. Američki astronom Rasel je nešto kasnije konstruisao prvi dijagram: spektar - apsolutna zvezdana veličina, koji je bio korak dalje u proučavanju zvezda i koji se danas vrlo mnogo upotrebljava. Skraćeno se naziva H-R-dijagram.

Ako se apsolutna zvezdana veličina (M) nacрта u funkciji njene spektralne klase ili temperature, onda najveći broj zvezda iz

okoline Sunca leži na jednom nizu koji se proteže iz levog gornjeg dela dijagrama prema desnom donjem delu (sl. 108.). Ova koncentracija zvezda naziva se glavni niz H-R-dijagrama. Naše Sunce je žuta zvezda, spektralne klase G i apsolutne veličine $M = + 4,8$. Ono se

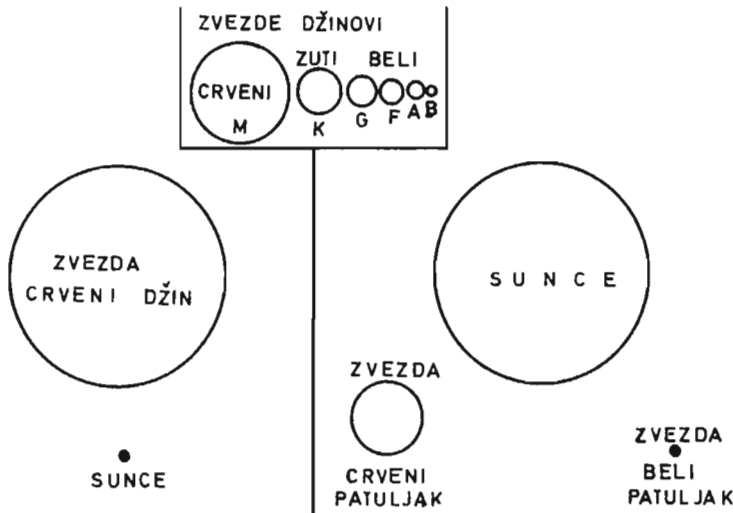


Sl. 108. H-R-dijagram

Kao što se vidi na slici 108. neke zvezde ne leže na glavnom nizu H-R-dijagrama. One se nazivaju zvezde džinovi i zvezde-patuljci (sl. 109.).

Crveni džinovi su crvene, izuzetno sjajne zvezde, mnogo sjajnije od Sunca. To ipak nisu veoma tople zvezde, što bi se očekivalo po njihovom sjaju. One pripadaju klasama K i M i temperature im ne prelaze 5000°C . Ako definišemo ukupan sjaj zvezde kao količinu energije koju u 1 sekundi izrači 1 cm^2 zvezdane površine pomnožen veličinom cele površine, onda zvezde pri niskoj temperaturi mogu da zrače veliku energiju i budu toliko sjajne kao crveni džinovi, samo

nalazi blizu sredine glavnog niza. To znači da su mnoge zvezde sjajnije, ali mnoge i manje sjajne od njega. Što je zvezda toplija (plava, bela) i sjajnija, to je bliža gornjem levom delu, a što je hladnija, ona "silazi" niz glavni niz. Tako se u desnom donjem delu nalaze crvene zvezde malog sjaja koje se ne vide golim okom. Ovaj dijagram pokazuje da kod zvezda postoji određeni odnos sjaja i temperatura. Na osnovi ovog dijagrama, znajući spektralnu klasu zvezde, možemo da odredimo njenu apsolutnu veličinu, iako joj ne znamo daljinu. To važi za veliki broj zvezda. Postoje ipak izuzeci od ovog pravila.



Sl. 109. Uporedjenje veličine Sunca, zvezda džinova i zvezda patuljaka

daju klasama A do F, što znači da su vrlo tople. To su malobrojne zvezde koje leže u levom donjem delu H-R-dijagrama ispod glavnog niza. Ako i pored velikih temperatura zrače malu količinu energije, znači da moraju biti malih dimenzija. Beli patuljci su zaista male zvezde. Veličine njihovih prečnika kreću se od polovine Zemljinog prečnika do četiri Zemljina prečnika. Ovi patuljci su još po nečemu izuzetni. To su zvezde izvanredno velike gustine. Dok je srednja gustina Sunca $\rho = 1,4 \text{ g/cm}^3$, srednja gustina belih patuljaka je $\rho = 10^6 \text{ g/cm}^3$. Tako ogromnu gustinu teško je zamisliti. Kutija šibice ove materije težila bi više od jedne tone. Na Zemlji ne poznajemo materiju takve gustine (platina - $\rho = 21 \text{ g/cm}^3$, zlato - $\rho = 19,2 \text{ g/cm}^3$, živa $\rho = 13,6 \text{ g/cm}^3$).

Kakva je to specijalna materija od koje su sačinjeni beli patuljci? Atom je pod normalnim uslovima "prazan prostor" u kome čestice zauzimaju vrlo mali deo. Neutralni atom ima prečnik 10^{-8} cm a atomsko jezgro samo 10^{-13} cm , odnosno sto hiljada puta manji. U unutrašnjosti belih patuljaka vladaju strahovito visoki pritisci i temperature. Pod takvim uslovima neutralni atomi gube svoje elektrone i materija postaje tzv. "degenerisani gas", tj. smeša jezgara i slobodnih elektrona. Ne ulazeći u detaljnu analizu fizičkih osobina takvog stanja materije, možemo reći da se degenerisani gas može sabiti u znatno manji prostor, pa se tako i ostvaruju ogromne gustine.

ako su njihove površine ogromne. I zaista, poznate zvezde džinovi Betelgez i Antares imaju prečnike oko 400 i oko 300 puta veće od Sunčevog. Zvezde veće od džinova zovu se superdžinovi.

Beli patuljci

su zvezde slabog sjaja, koje se ne vide golim okom, a pripa-

9.6. Izvori zvezdane energije

U jezgrima zvezda iz sredine glavnog niza (kojima pripada i Sunce), temperature iznose 200 miliona i više stepeni, a pritisci 200 milijardi atmosfera. Tamo su zato atomi lišeni spoljnih elektronskih omotača i neprekidno se događaju sudari protona. Pri sudaru ovakva dva jezgra obrazuje se jezgro teškog vodonika, deuterijuma. Ono trenutno stupa u reakciju s jezgrom običnog vodonika, obrazujući laki izotop helijuma. Dva jezgra helijumovog izotopa daju stabilno jezgro helijuma i dva protona koji ponovo počinju isti ciklus. Ova se reakcija naziva proton-proton i teče na sledeći način:

PROCES	OSLOBOĐENA ENERGIJA	TRAJANJE PROCESA
${}_1\text{H}^1 + {}_1\text{H}^1 \rightarrow {}_1\text{D}^2 + \beta^+ + \nu$	1,44 Mev	$4 \cdot 10^9$ god.
${}_1\text{D}^2 + {}_1\text{H}^1 \rightarrow {}_2\text{He}^3 + \gamma$	5,49 Mev	6 sec
${}_2\text{He}^3 + {}_2\text{He}^3 \rightarrow {}_2\text{He}^4 + {}_1\text{H}^1 + {}_1\text{H}^1 + \gamma$	12,85 Mev	10^6 god.

Jedan mali defekt mase izaziva ogromne količine energije zračenja. Tako se kod ovih zvezda nadoknadjivanje energije oslobodjene zračenjima, i po količini i po trajanju, može potpuno objasniti pretvaranjem vodonika u teži element helijum u njihovim unutrašnjostima pod uticajem vrlo visoke temperature. Nijedan drugi izvor energije nije bio dovoljan da objasni ovu nadoknadu.

Izvore energije zvezda belih i plavih džinova, znatno većih i vrelijih od Sunca, može biti druga reakcija, tzv. ugljenikov ciklus, prikazan na donjoj shemi:

${}_6\text{C}^{12} + {}_1\text{H}^1 \rightarrow {}_7\text{N}^{13} + \gamma$	1,95 Mev	$1.3 \cdot 10^7$ god.
${}_7\text{N}^{13} \rightarrow {}_6\text{C}^{13} + \beta^+ + \nu$	2,22 Mev	7 min.
${}_6\text{C}^{13} + {}_1\text{H}^1 \rightarrow {}_7\text{N}^{14} + \gamma$	7,54 Mev	$2.7 \cdot 10^6$ god.
${}_7\text{N}^{14} + {}_1\text{H}^1 \rightarrow {}_8\text{O}^{15} + \gamma$	7,35 Mev	$3.2 \cdot 10^8$ god.
${}_8\text{O}^{15} \rightarrow {}_7\text{N}^{15} + \beta^+ + \nu$	2,7 Mev	82 sec.
${}_7\text{N}^{15} + {}_1\text{H}^1 \rightarrow {}_6\text{C}^{12} + {}_2\text{He}^4 + \gamma$	4,96 Mev	$1.1 \cdot 10^5$ god.

Pri ovoj reakciji jezgro običnog ugljenika, sudarajući se s jezgrom vodonika, pretvara se u laki izotop azota, čije je jezgro nestabilno i, uz oslobađanje energije, prelazi u lakši izotop ugljenika. Kada se ovaj sudari s jezgrom vodonika, pretvara se u jezgro običnog azota, ispuštajući opet energiju zračenja. Ako se, dalje, jez-

gro azota sudari sa novim jezgrom vodonika, nastaje nestabilni izotop kiseonika, koji se, oslobadajući energiju, pretvara odmah u izotop azota. Jezgro ovog poslednjeg, spojivši se sa četvrtim po redu jezgrom vodonika, raspada se na jezgro ugljenika, od koga je reakcija i počela, i na jezgro helijuma, koje je konačni proizvod ove reakcije na još mnogo većim temperaturama koje vladaju u zvezdama džinovima, no u Sunčevom središtu. Energija oslobodjena ovom drugom vrstom nuklearne reakcije dovoljna je, kako račun pokazuje, da podmiri njihove ogromne utroške energije koju one oslobadaju rasipničkim zračenjem.

I kod crvenih džinova izvor energije je ugljenikova reakcija, samo što je količina ove energije manja, a njihovo slabije zračenje posledica drukčije unutrašnje gradje no kod belih i plavih džinova. Njihova su jezgra mala i veoma gusta a džinovski omotači izvanredno retki. Tu se račun slaže i s posmatranjima.

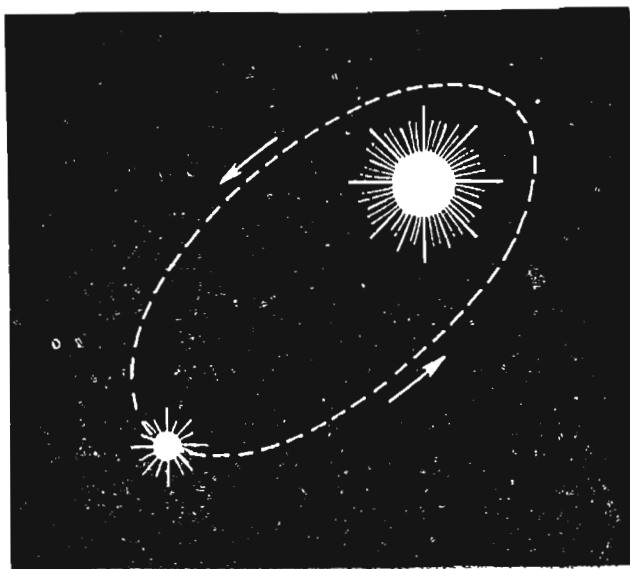
Kod zvezda crvenih patuljaka, s temperaturom od 11-13 miliona stepeni u središtu, čija je gustina veća a zračenje slabije od Sunčevog, izvor energije je u pretvaranju vodonika u helijum, kao i kod zvezda Sunčevog tipa.

Najzad, izvanredno zbivene i vrele zvezde - beli patuljci, sastoje se uglavnom od degenerisanog zbivenog gasa, koji se više ne povinuje osnovnim zakonima za idealne gasove.

Kao što vidimo, i pored velike raznolikosti zvezda izvor energije je kod svih isti - pretvaranje vodonika u helijum različitim putevima, uz delimično pretvaranje mase u energiju.

9.7. Dvojne i višestruke zvezde

To su parovi zvezda koji obilaze oko zajedničkog težišta pod uticajem sopstvene gravitacije. Period obilaska (revolucija) zavisi od rastojanja između zvezda. Ako su bliže, zvezde obilaze brže, a ako su dalje - sporije. Golim okom se takav par obično vidi kao jedna zvezda i tek se pomoću teleskopa vide odvojeno. Matematički se može pokazati da njihove putanje moraju biti elipse, kao i putanje planeta oko Sunca. Znači, Keplerovi zakoni, kao i Njutnov zakon gravitacije, imaju univerzalni karakter. Oni važe i izvan Sunčevog sistema.



Sl. 110. Putanja pratioca dvojne zvezde

deluje gravitacija njenog nevidljivog pratioca.

Na osnovi geometrijskih osobina putanja dvojnih zvezda mogu se izračunati njihove mase. Ovo je jedan od značajnih rezultata proučavanja dvojnih zvezda.

Danas se zna da su na daljini od 10 parseka oko Sunca 50% zvezda dvojne, trojne i višestruke. Znači, pored usamljenih zvezda, pojava zvezda u parovima je česta pojava u prirodi.

Dešava se da zvezde izgledaju kao dvojne zbog toga što se teleskopom vide u jednom pravcu, a ustvari su vrlo daleko jedna od druge i ne čine nikakav fizički par. Takve zvezde se nazivaju optički dvojne.

Ponekad su fizički dvojne zvezde toliko blizu jedna drugoj da se ni najjačim teleskopom ne mogu razdvojiti. Da je to ipak par zvezda, zaključujemo na osnovi fotografije njihovog spektra. Dopletovo pomeranje linija u njihovom spektru vrši se periodično, u ritmu revolucije zvezda. Ovakve zvezde nazivaju se spektroskopski dvojne.

Ovakvim metodima je poslednjih godina otkriveno nekoliko dvojnih čiji su pratioci reda veličine planeta, pa se pretpostavlja da su to otkriveni planetski sistemi i oko drugih zvezda slični Sunčevom. Otkriće je od ogromnog naučnog značaja, jer se sa njim povećala verovatnoća nastanjenosti čitave Vasiona živim bićima. Zato se ova istraživanja uporno nastavljaju.

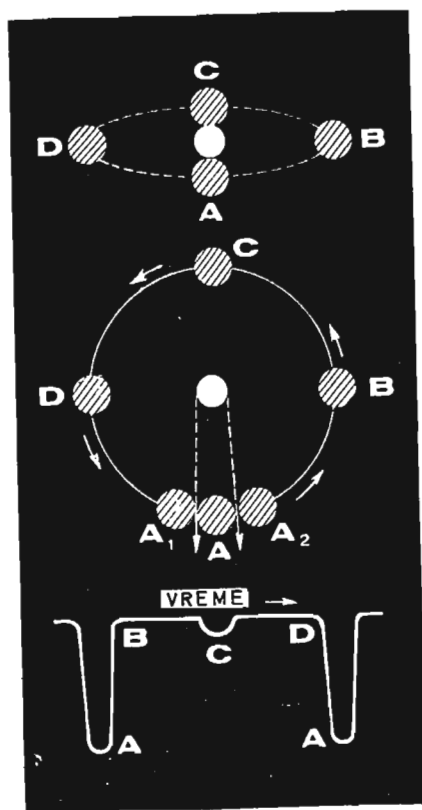
Na slici 110 prikazana je putanja dvojne zvezde u ravni normalnoj na pravac posmatranja. Takva se putanja naziva prividna. Prava putanja može ležati u bilo kojoj ravni u odnosu na posmatrača i izračunava se iz prividne putanje. To su fizički dvojne zvezde. Često je druga zvezda ovakvog dvojnog para vrlo slabog sjaja, pa se ni teleskopom ne može videti. Tada se na osnovi malog odstupanja putanje sjajnije zvezde od elipse zaključuje da na nju

tave Vasionne živim bićima. Zato se ova istraživanja uporno nastavljaju.

Eklipsne su one dvojne zvezde čija ravan putanje revolucije leži tako prema vizuri, da jedna zvezda periodično zaklanja drugu. Zbog toga se ukupan sjaj, koji potiče od obe zvezde, periodično menja. Tipična zvezda ove vrste je Algol (β Persei). Iz oblika krive sjaja može se zaključiti kakve su geometrijske osobine putanje, kakav je sjaj komponentata i način pomračivanja. Kod Algola je jedna komponenta manje sjajna od druge, pa zbog toga minimumi na krivoj promene sjaja pokazuju znatne razlike (sl. 111.). Promena

sjaja kod ovih zvezda nastaje usled zaklanjanja dela ili čitavog diska zvezde od strane komponente pratilje slabijeg sjaja. Zbog toga je promena sjaja ovih zvezda vrlo pravilna. Sve zvezde koje se pomračuju na ovaj način nazivaju se zvezde Algolovog tipa.

Videli smo da je kod eklipsnih zvezda promena ukupnog sjaja prividna, ona je izazvana pomraćenjima. Količina energije koju zrači svaka komponenta ne menja se u toku vremena. To su stabilne zvezde, koje u toku vremena ne zrače različitu energiju.



Sl. 111. Sistemi eklipsne ili pomračne dvojne zvezde Algola i kriva promene njena sjaja

9.8. Promenljive zvezde

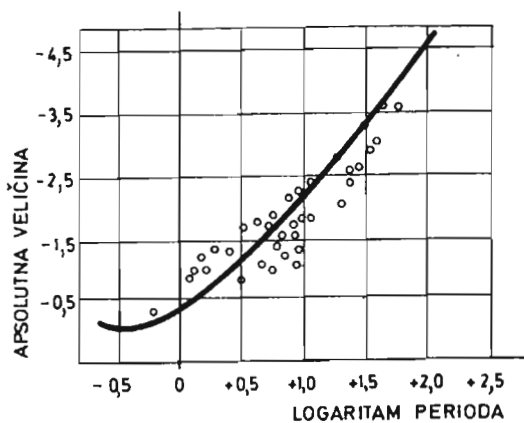
Fizički promenljivih zvezda od njihovog otkrića krajem XVI veka katalogizovano je i delimično proučeno oko 26000. Podeljene su u više vrsta i podvrsta. Dele se u dve velike vrste: periodične i nepravilno promenljive. Dok im se amplituda promene prividne veli-

čine kreće od 0,1 do nekoliko prividnih veličina, vreme između maksimuma (ili minimuma), tzv. ciklus kreće se od nekoliko minuta do nekoliko godina. Ako promena prividne veličine ima pravilan karakter

ciklus se naziva periodom.

Periodične promenljive dele se dalje na cefeide i dugoperiodične promenljive. Prva podvrsta nazvana je po zvezdi δ Cefeja čija je karakteristična promena prividne veličine otkrivena krajem XVIII veka. Sjaj im se menja neprekidno i periodično sa amplitudom od oko 1 prividne veličine, pri čemu je porast sjaja nagao a opadanje postupnije (sl. 113,1). Najveća njihova radijalna brzina odgovara maksimumu sjaja, a najmanja minimumu. Temperatura im se menja naporedo s promenom sjaja. Periodi promene sjaja kreću se od nekoliko desetina minuta do 45 dana, pa su to kratkoperiodične promenljive. Sve pripadaju ranim spektralnim klasama džinovskih i vrelih zvezda i u toku promene sjaja toliko im se menjaju fizičke osobine da prelaze iz jedne spektralne klase u drugu (sa opadanjem sjaja, uvek u pozniju spektralnu klasu).

Uzrokom promene sjaja Cefeida smatra se pulsiranje zvezde, tj. njeno periodično širenje i skupljanje usled još nedovoljno ispitanih nuklearnih reakcija u njihovim jezgrima. Ova pretpostavka nije međjutim dovoljna da objasni sve podatke dobivene posmatranjima, pa se u poslednje vreme ističe da i kod Cefeida, kao i još nekih promenljivih zvezda, do promene sjaja dolazi i usled džinovskih erupcija usijanih gasovitih masa iz zvezdine unutrašnjosti, koja nastaje usled procesa u atomskim jezgrima.



Sl. 112. Kriva "period-apsolutna veličina kod Cefeida"

Vrlo značajna odlika cefeida je (sl. 112.) njihova veza između sjaja i periode: što je veća apsolutna veličina zvezde, to je duži period promene njenog sjaja. Ako iz posmatranja odredimo prividnu veličinu i period, iz ove veze dobivamo apsolutnu veličinu, a iz nje kao što smo već videli, i daljinu zvezde. Tako se mogu odrediti daljine cefeida sve do granice našeg zvezdanog sistema, pa i daljine drugih zvezdanih sistema u kojima

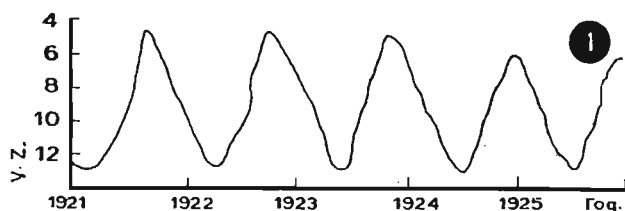
su otkrivene cefeide. Ovom značajnom metodom dobivamo daljine tako dalekih nebeskih tela čije su paralakse toliko male da se ni najsav-

remanijim mernim metodama i instrumentima ne mogu meriti.

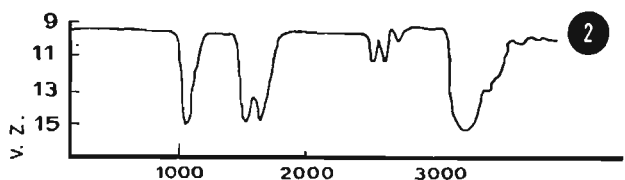
Periodi promene sjaja od 45-90 dana veoma su retki. Medjutim, periodi od 90 - 700 dana češće se sreću. Zvezde ovog tipa svrstane su u podvrstu duoperiodičnih promenljivih u koju spada i prva promenljiva o Ceti (ili Mira Ceti). Kao i kod cefeida, njihov sjaj znatno brže raste no što opada, samo je kriva promene sjaja manje pravilna i ne ponavlja se na savršeno isti način kao kod cefeida.

I ove su zvezde džinovi, samo poznijih, hladnijih spektralnih klasa. Njihova temperatura menja se od 1900-2500°C. Uzrok promene njihova sjaja smatra se takodje da su pulsacije praćene erupcijama, od kojih potiču sjajne linije u njihovim spektrima.

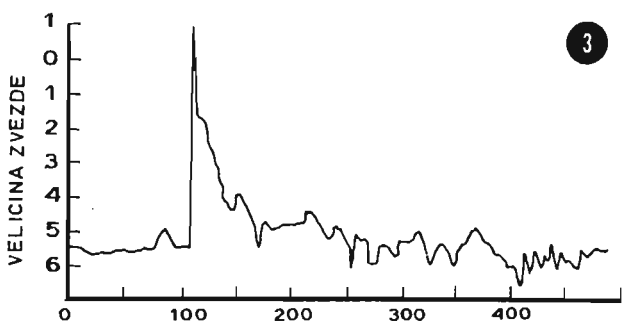
U vrstu nepravilnih promenljivih spadaju hladnije džinovske zvezde poznijih spektralnih klasa čiji se sjaj menja na sasvim nepravilan način (sl. 113,2.). One se mogu podeliti u više podvrsta,



medju kojima se mogu naći i promenljive s polupravilnom promenom sjaja. Ona se kod njih menja od nekoliko stotih do nekoliko celih prividnih veličina.



Poslednjih decenija naročitu pažnju privukle su tzv. eruptivne promenljive zvezde - uglavnom crveni patuljci, na kojima se u neravnomernim razmacima zapaža nagao i veliki ali veoma kratak porast sjaja, koji se objašnjava erupcijama usijanih gasova iz zvezdine unutrašnjosti. Istraživanja ove vrste su vršena i vrše se uspešno i na Beogradskoj opservatoriji.



Sl. 113. Krive promene sjaja različitih tipova fizičkih promenljivih i novih zvezda
1-periodička; iz podvrste cefeida (K. Labuda); 2-nepravilna (SU Bika); 3-nova

9.9. Nove i supernove zvezde

Dešava se da i sasvim iznenada na nebu bljesne zvezda, koja je do tada bila nevidljiva. Za

nekoliko dana sjaj joj se toliko poveća da se može videti i golim okom, a ponekad čak i danju. Posle nekoliko dana njihov sjaj obično počne da slabi, da se za godinu, a nekad i više dana potpuno ugasi, no u većim teleskopima još se dugo mogu pratiti, dok se najzad ne stabilizuju kao vrlo slabe zvezde. To su tzv. nove (sl. 113,3). Njihov se sjaj katkad izmeni i za 11 prividnih veličina, tj. 25000 puta. Posmatranja pokazuju da se u maksimumu sjaja kod novih zvezda događaju džinovske erupcije gasova, pri čemu se od njih odvajaju mase reda veličine 10^{-4} - 10^{-5} Sunčeve mase i oslobađaju u vidu maglina u vasion-ski prostor.

Ovo se naročito događa kod izuzetno sjajnih novih koje nazivamo supernove. One mogu dostići i sjaj više milijardi zvezda. Na primer supernova iz 1054. godine ostavila je posle džinovske erupcije, koju možemo nazvati eksplozijom zvezde, poznatu lepu gasovitu difuznu Krab-maglinu (sl. 114.), koja je snažan izvor radiotalasa, X zračenja i kosmičkih zrakova, a u njoj se nalazi i jedan pulsar, zvezda posebne vrste, o kojima će biti govora.



Sl. 114. *Krab-maglina*

Statistika pokazuje da pojave nova i supernova nisu retke. Samo u našem zvezdanom sistemu pojavi ih se svake godine oko 25, od kojih je našim posmatranjima pristupačan samo mali broj.

Otkrivene su i tzv. povratne nove, čija se razbuktavanja ponavljaju sa izvesnom periodičnošću, pa se danas pretpostavlja da i sve nove i supernove spadaju u posebnu podvrstu nepravilno promenljivih zvezda.

Još nedovoljno ispitan mehanizam njihovog razbuktavanja izgleda da je izvesna još nedovoljno poznata vrsta reakcije u zvezdanoj unutrašnjosti. Ni sudbina novih i supernovih nije sasvim poznata, no pretpostavlja se da posle niza gubitaka mase ovakve zvezde mogu završiti kao beli patuljci, ili pulsari.

Kako nove i supernove pripadaju klasi vrelih, džinovskih belih i plavih zvezda, to našem Suncu, koje spada u klasu zvezda niskog sjaja očigledno ne preči ovakva sudbina.

9.10. Pulsari

U ostacima eksplozija dve supernove radioastronomi su 1967. godine otkrili vasijske izvore radiozračenja koji emituju radio-sig-nale kratkog trajanja, no oni se ponavljaju u vrlo pravilnim vremenskim razmacima. Utvrđeno je da se na tim mestima nalaze zvezde koje se u istom ritmu pale i gase. Ova nebeska tela nazvana su pulsari. Pulsar u Krab-maglini ima period pulsacije od samo 33 hiljadita sekunde. Nešto kasnije otkriveno je još oko 150 pulsara van ostataka supernovih.

Spektar ukazuje da njihovo zračenje nije toplotno, već da dolazi od ubrzanog kretanja naelektrisanih čestica u magnetnim poljima. Još neke posmatrane činjenice ukazuju na to da promena sjaja pulsara ne dolazi od promene dimenzija, već od brze rotacije superguste zvezde čiji prečnik ne prelazi 10 km i čije zračenje potiče iz jedne određene oblasti zvezde, tako da se ponašaju slično svetioniku.

Otkriće pulsara došlo je kao potvrda postojanja neutronskih zvezda, koje su teorijski predviđene još 30-tih godina ovog veka. Materiju ovih zvezda čine neutroni koji nastaju sjedinjavanjem elektrona i protona pod velikim pritiscima. Sa svoje strane neutronska materija se svojom ogromnom gustinom (10^{15} kg/m³) suprotstavlja gravitacionom sažimanju, pa je neutronska zvezda stabilna.

Z a d a c i

1. Koliko bi vremena mlazni avion brzine 1000 km/h leteo do najbliže nam zvezde - Proksime Kentaura, čija je paralaksa = 0",76? Koliko bi vremena trebalo za to vasijskom brodu brzine 1000 km/s?

2. Ako je prividna veličina Sirijusa - 1,58, a njegovog pratioca 8,44, koliko je puta Sirijusov sjaj veći od pratičevog?

3. Iz prividne veličine i srednje daljine Sunca izračunaj ukupnu energiju njegovog zračenja, a znajući još i njegovu efektivnu temperaturu izračunaj njegov pravi poluprečnik.

4. Radijalna brzina Vege je - 14 km/s, godišnje sopstveno kretanje $0,340''$, a paralaksa $0,124''$. Odredi prostornu brzinu zvezde u odnosu na Sunce.

5. Koliko je najmanje uglovno rastojanje medju komponentama dvojne zvezde pri kome se ona vidi kao disk u refraktoru otvora 65 cm? Koliko je njihovo linijsko rastojanje, ako im je srednja paralaksa $0,50''$?

6. Promenljiva Mira Ceti u najvećem sjaju dostiže prividnu veličinu 2,5, a u najmanjem 9,2. Koliko je puta sjajnija u maksimumu nego u minimumu?

P o s m a t r a n j a

1. Posmatraj školskim teleskopom s velikim uveličanjem 2-3 para dvojnih zvezda (datih u Astronomskom atlasu). Pokušaj da uočiš kontraste njihovih boja i odnos sjaja.

2. Pokušaj da dobiješ spektre dveju sjajnih zvezda raznih spektralnih klasa i da uočiš razliku medju njima. Upotrebi prizmu pred objektivom ili mali spektroskop sopstvene izrade ili prizmu za pravo gledanje. Ako škola njima ne raspolaže, izvedi ovo posmatranje s grupom drugova na najbližoj narodnoj opservatoriji.

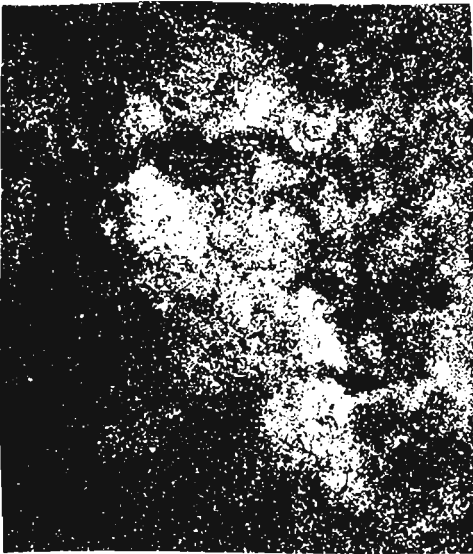
3. Posmatraj jednu tipičnu eklipsnu promenljivu, jedan ce-feid i jednu dugoperiodičnu ili nepravilnu promenljivu (čiji su podaci dati u Astronomskom atlasu). Posmatranje ponovi više večeri. Odredi prividne veličine ovih zvezda upoređivanjem sa susednim zvezdama poznatih prividnih veličina. Pokušaj da nacrtáš krive promene sjaja i da ih uporediš sa postojećim.

GLAVA X

MLEČNI PUT. GALAKSIJA

10.1. Mlečni put i Galaksija

Mlečni put je beličasti pojas na nebu koji je još Galilej svojim durbinom "rastavio" na zvezde. Danas se zna da je to projekcija našeg Zvezdanog sistema, Galaksije, na nebesku sferu. Mlečni put obrazuje na nebu zatvoreni kružni pojas čija se centralna linija skoro poklapa sa velikim krugom nebeske sfere, a sa nebeskim ekvatorom zaklapa ugao od oko 62° . Zbog ovog nagiba Mlečni put ima razne položaje tokom noći i u raznim godišnjim dobima. Na Mlečnom putu postoje oblasti veće i manje gustine zvezda (sl. 115.) Naš zvezdani sistem može se prikazati u dve projekcije: kao spirala (sl. 116.) ili kao dvostruko ispupčeno sočivo (sl. 117.). Ravan simetrije naše



Sl. 115. Fotografija jednog dela Mlečnog puta



Sl. 116. Spiralna struktura naše Galaksije

Galaksije naziva se galaktička ravan. Prečnik Galaksije u ovoj ravni je oko 30 kiloperseka. Oblast u blizini galaktičkog središta je vrlo sjajna i naziva se galaktičko jezgro. Od galaktičkog jezgra odvajaju se dve spiralne grane u kojima se nalazi veliki broj zvezda okružen međuzvezdanom materijom. Smatra

se da Galaksija ima preko sto milijardi zvezda. Spiralna struktura naše Galaksije ustanovljena je zahvaljujući radioastronomiji kao i proučavanju zvezdanih sistema izvan našeg.



Sl. 117. Galaksija u drugoj projekciji

Sunce ne zauzima centralni položaj u Galaksiji. Američki astronom Šepli razbio je 1919. god. iluziju da je Sunce u centru našeg zvezdanog sistema, kao što je to Kopernik učinio 1543. god.

za Zemlju. Sunce se nalazi u galaktičkoj ravni na oko 10 kiloparseka od njenog centra.

Osim zvezda i međuzvezdane materije, u sastavu naše Galaksije nalaze se: zvezdana jata (razvejana i zbijena), magline (difuzne i planetne), kao i naš Planetni sistem i, verovatno, i drugi planetni sistemi. Ne treba da zaboravimo ni kosmičke zrake. To su naelektrisane čestice ogromnih energija, najčešće protoni i elektroni, koji se kreću brzinama bliskim brzini svetlosti. Neke od ovih čestica imaju tako ogromne energije da one daleko prevazilaze energije dobijene ubrzavanjem čestica u najsavremenijim laboratorijama na Zemlji. Još uvek nema pouzdanih teorija o poreklu kosmičkih zrakova, mada se pretpostavlja da nastaju u eksplozijama supernovih zvezda. Dokazano je da malu količinu kosmičkih zrakova proizvodi i Sunce za vreme erupcija.

Naša Galaksija nije samo izvor svetlosti. Ona nam šalje i radiotalase. Celokupno radiozračenje Galaksije slabije je od optičkog za oko sto hiljada puta. Smatra se da Galaksija ima svoje magnetno polje. Proučavanje radiotalasa i kosmičkih zrakova treba da omogući tačnije određivanje jačine, strukture i porekla galaktičkog magnetnog polja.

Spljošteni oblik i nagomilavanje materije u galaktičkoj ravni odmah ukazuju na rotaciju Galaksije. Utvrđeno je da Galaksija rotira oko ose koja je normalna na galaktičkoj ravni i prolazi kroz njen centar. Oko ove ose rotiraju sve zvezde, pa i naše Sunce.

Pošto Galaksija nije čvrsto telo, to se njeni razni delovi obrću oko ose različitim brzinama. Na mestu na kome se nalazi Sunce zvezde rotiraju oko galaktičkog centra brzinom od oko 220 km/s. Sunčev sistem takodje učestvuje u ovom opštem kretanju. Smatra se da je Galaksija stara oko 12-15 milijardi godina.

10.2. Galaktički koordinatni sistem

Za određivanje položaja i kretanja nebeskih tela u Galaksiji, kao i za određivanje položaja drugih galaksija prema našoj, najpodesnije je koristiti tzv. galaktički (sferni) koordinatni sistem. U njemu je osnovna ravan galaktička ravan s galaktičkim polom čije su nebeske ekvatorske koordinate (190° , $+ 28^{\circ}$). Njen presek s nebeskom sferom naziva se galaktički ekvator. Osnovni pravac u galaktičkoj ravni je pravac od središta Galaksije ka tački preseka galaktičkog sa nebeskim ekvatorom, δ , i to onom u kojoj Mlečni put prelazi s južne na severnu nebesku polusferu. Smer je u toj ravni direktan, dakle suprotan kazaljki na časovniku. Galaktičke koordinate su: galaktička longituda l i galaktička latituda b . Prva se računa od tačke δ do preseka kruga galaktičke latituda nebeskog tela sa galaktičkim ekvatorom, a druga od galaktičkog ekvatora do nebeskog tela. Galaktička longituda može uzimati sve vrednosti od 0° do 360° , a galaktička latituda se kreće u granicama $-90^{\circ} \leq b \leq + 90^{\circ}$. Iz posmatranja se određuju koordinate α , δ , a računski se prelazi na galaktičke koordinate l , b . (Nacrtaj sliku!).

10.3. Zvezdana jata

Pored običnih, dvojnih i višestrukih zvezda, naša Galaksija sadrži i druga nebeska tela. To su: zvezdana jata, medjuzvezdana materija i magline.

Skup zvezda čija su medjusobna rastojanja manja nego rastojanja izmedju zvezda koje ih okružuju, pri čemu svi članovi skupa imaju zajedničko kretanje - predstavlja zvezdano jato. Pretpostavlja se da sve zvezde u jednom jatu imaju zajedničko poreklo, što znači da su iste starosti. Zvezdana jata dele se na: razvejana ili rasturena, i zbijena, ili globularna. Ova dva tipa jata razlikuju se po obliku i razmerama, po broju i gustini zvezda, po rasporedu u prostoru, itd.

Pošto Galaksija nije čvrsto telo, to se njeni razni delovi obrću oko ose različitim brzinama. Na mestu na kome se nalazi Sunce zvezde rotiraju oko galaktičkog centra brzinom od oko 220 km/s. Sunčev sistem takodje učestvuje u ovom opštem kretanju. Smatra se da je Galaksija stara oko 12-15 milijardi godina.

10.2. Galaktički koordinatni sistem

Za određivanje položaja i kretanja nebeskih tela u Galaksiji, kao i za određivanje položaja drugih galaksija prema našoj, najpodesnije je koristiti tzv. galaktički (sferni) koordinatni sistem. U njemu je osnovna ravan galaktička ravan s galaktičkim polom čije su nebeske ekvatorske koordinate (190° , $+28^\circ$). Njen presek s nebeskom sferom naziva se galaktički ekvator. Osnovni pravac u galaktičkoj ravni je pravac od središta Galaksije ka tački preseka galaktičkog sa nebeskim ekvatorom, δ , i to onom u kojoj Mlečni put prelazi s južne na severnu nebesku polusferu. Smer je u toj ravni direktan, dakle suprotan kazaljki na časovniku. Galaktičke koordinate su: galaktička longituda l i galaktička latituda b . Prva se računa od tačke δ do preseka kruga galaktičke latituda nebeskog tela sa galaktičkim ekvatorom, a druga od galaktičkog ekvatora do nebeskog tela. Galaktička longituda može uzimati sve vrednosti od 0° do 360° , a galaktička latituda se kreće u granicama $-90^\circ \leq b \leq +90^\circ$. Iz posmatranja se određuju koordinate α , δ , a računski se prelazi na galaktičke koordinate l , b . (Nacrtaj sliku!).

10.3. Zvezdana jata

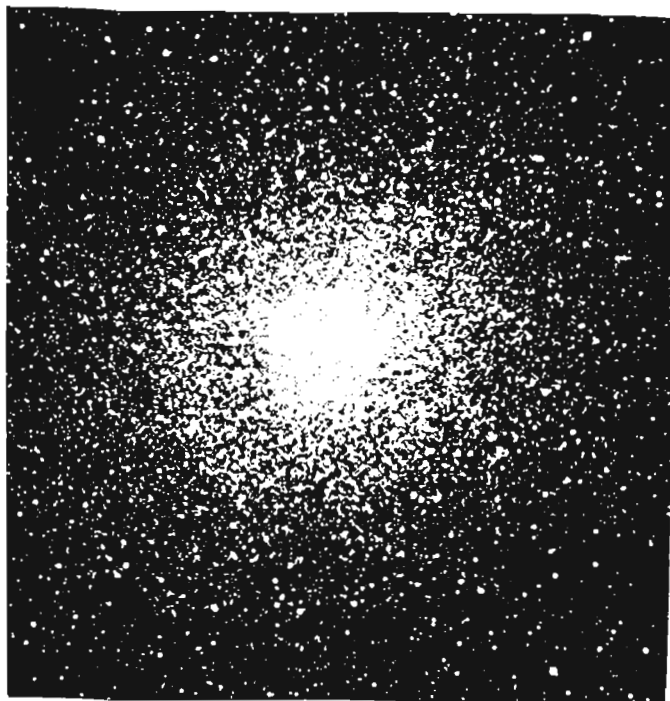
Pored običnih, dvojnih i višestrukih zvezda, naša Galaksija sadrži i druga nebeska tela. To su: zvezdana jata, medjuzvezdana materija i magline.

Skup zvezda čija su međjusobna rastojanja manja nego rastojanja između zvezda koje ih okružuju, pri čemu svi članovi skupa imaju zajedničko kretanje - predstavlja zvezdano jato. Pretpostavlja se da sve zvezde u jednom jatu imaju zajedničko poreklo, što znači da su iste starosti. Zvezdana jata dele se na: razvejana ili rasturena, i zbijena, ili globularna. Ova dva tipa jata razlikuju se po obliku i razmerama, po broju i gustini zvezda, po rasporedu u prostoru, itd.

Razvejana, ili rasturena jata sadrže od nekoliko desetina do nekoliko stotina zvezda. Sve se zvezde kreću u istom pravcu. Ova jata se nalaze u Zvezdanom sistemu kome pripada i naše Sunce i koji se naziva Galaksija ili Mlečni Put. Svako od razvejanih jata ima svoj karakterističan izgled, pa se razlikuju medju sobom. Na slici 118. prikazano je razvejano jato - Plejade, koje se kod nas naziva Vlašići. Nalazi se u sazveždju Bik. Golim okom se u njemu vidi 6-7 zvezda, a teleskopom nekoliko stotina. U mnogim razvejanim jatima zapažene su i dvojne zvezde.



Sl. 118. Galaktičko jato Vlašići ili Plejade



Sl. 119. Zbijeno zvezdano jato

Zbijena, ili globularna jata sadrže znatan broj zvezda, po nekoliko desetina pa i stotina hiljada, i mnogo veću zvezdanu koncentraciju. Za razliku od razvejanih, ova jata imaju pravilan sferni oblik. Nama najbliže zbijeno jato golim okom se vidi kao magličasta zvezda vrlo slabog sjaja, a tek se jakim teleskopom "raspada" na mnogo hiljada zvezda i liči na prosutu žeravicu (sl. 119.). Sva globularna jata liče jedno na drugo. Zvezde su najgušće u središtu, sa udaljavanjem od njega koncentracija opada, tako da je teško odrediti spoljašnje granice jata. Globularna jata su mnogo dalja od nas nego rasturena. Zato su njihova sopstvena kretanja veoma mala

pa se zasad ne mogu meriti. U mnogim globularnim jatima ima promenljivih zvezda tipa cefeida, što je omogućilo izračunavanje njihovih daljina.

Raspored jata u našoj Galaksiji je karakterističan. Globularna jata su raspoređena sferno simetrično od središta Galaksije prema periferiji. Sasvim drukčije su raspoređena rasturena jata. Ona su većinom koncentrisana u ravni Mlečnog puta.

I razvijena i globularna jata otkrivena su i van naše Galaksije.

10.4. Medjuzvezdana materija

Materija koja je koncentrisana u zvezdama ne iscrpljuje sve oblike kosmičke materije. Prostor između zvezda sadrži materiju u dva oblika: kao medjuzvezdanu prašinu i medjuzvezdani gas. Njihova gustina je različita, ali u proseku iznosi 10^{-4} g/cm³; ova-ko izvanredno visoko razredjenje nije postignuto nikakvom do sada poznatom tehnikom na Zemlji. Najveći deo ove materije skupljen je u oblacima, različitih oblika, koji se nazivaju magline.

Medjuzvezdana prašina sastoji se od čvrstih čestica, prečnika oko 1 mikrona (10^{-4} cm). Na ovim česticama vrši se apsorpcija, rasejavanje i polarizacija svetlosti zvezda. Upravo koristeći ove efekte, mi i saznajemo o postojanju medjuzvezdane prašine. Ona u našoj Galaksiji nije ravnomerno raspoređena. Najgušća je u ravni Mlečnog puta. Sa udaljavanjem od te ravni gustina medjuzvezdane prašine naglo opada. Poreklo ovih čestica nije sasvim razjašnjeno, pa se ne zna ni njihova priroda. One mogu da nastanu iz erupcija promenljivih zvezda, naročito onih koje se raspadaju, kao što je slučaj kod novih i supernovih. A mogu da nastanu i iz spoljašnjih omotača koji napuštaju zvezde.

Medjuzvezdani gas sastoji se pretežno od vodonika. Osim njega, otkriveno je oko dvadeset različitih molekula, npr. amonijak (NH₃), formaldehid (H₂CO), metil-alkohol (CH₃OH), vodena para (H₂O), hidroksil (OH) i dr. Vodonik se nalazi u jonizovanom i neutralnom stanju. Jonizovani vodonik emituje spektar koji je dobro poznat iz laboratorijskih ogleda na Zemlji. On zrači u vidljivom delu spektra. Neutralan vodonik je registrovan u Vasioni tek 1951. god. Problem je u tome što neutralan vodonik emituje zračenje ene-

rgije koja je niža od energije jonizovanog vodonika. Talasna dužina emisije neutralnog vodonika $\lambda = 21 \text{ cm}$, a frekvencija $f = 1420 \text{ MHz}$. To znači da neutralan vodonik emituje liniju koja ne leži u vidljivom, nego u radiofrekventnom delu spektra. Tek je usavršavanjem radioastronomije postalo moguće registrovati ovu liniju iz dalekih prostora Vasiona. To je bio veliki uspeh radioastronomije, posebno značajan za proučavanje strukture naše Galaksije.

10.5. Magline

Magline su zgušnjena medjuzvezdane prašine i gasa. Svetle mrlje na nebu, slabog sjaja, nazvane su maglinama još u davna vremena. Za neke od njih je kasnije ustanovljeno da su globularna jata, a za neke da ne pripadaju našoj Galaksiji, već da su to zvezdani sistemi slični našem, ali na mnogo većim daljinama. Danas se ovi zvezdani sistemi nazivaju vagalaktičke magline ili spoljašnje galaksije. Prave magline su kondenzacija medjuzvezdane materije u raznim oblicima.

Magline mogu biti difuzne i planetne. Difuzne magline se dele na svetle i tamne.

Svetle difuzne magline se obično nalaze u blizini vrlo toplih zvezda, pa gasovi magline bivaju jonizovani, tako da ove magline svetle ili zbog jonizovanih gasova ili zbog rasute svetlosti obližnjih zvezda na česticama prašine. Jedna od najpoznatijih



Sl. 120. Difuzna Maglina "Detelina" u sazveždju Strelac

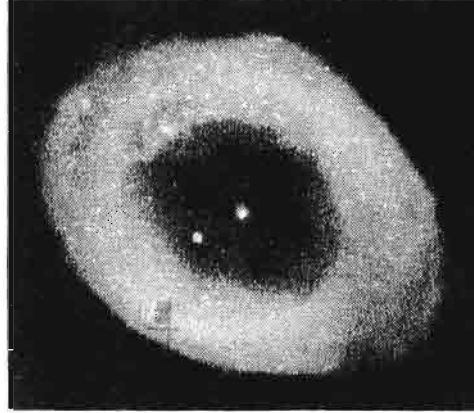
maglina ove grupe je velika Maglina "Detelina" u sazveždju Strelac (sl. 120.). Ona se jedva vidi golim okom, ali se pomoću teleskopa vidi kao oblak koji okružuje grupu zvezda klase O. Nehomogene je strukture i prosečne gustine oko hiljadu puta veće od medjuzvezdane materije (10^{-21} g/cm^3).

Tamne difuzne magline sastoje se uglavnom od medjuzvezdane prašine, pa svoje prisustvo pokazuju apsorbujući svetlost zvezda iza sebe. Neke se vide golim okom, a većina

pomoću teleskopa. Izgledaju kao tamne oblasti bez ijedne zvezde. Pošto su raznovrsnih oblika, to su dobile imena prema oblicima na koje podsećaju. Na slici 121. prikazana je tamna maglina "Konjska Glava" u sazveždju Orion.



Sl. 121. Tamna maglina
"Konjska Glava"
u sazveždju
Orion



Sl. 122. Planetna maglina
u sazveždju Lira

Planetne magline imaju oblik eliptične ili kružne pločice, ili prstena sa zvezdom u sredini (sl. 122.). Posmatrane kroz manji teleskop liče na planete, pa su tako i dobile ime. Donedavno se znalo samo za oko 100 planetnih maglina u našoj Galaksiji, ali se za poslednjih 40 godina, usavršavanjem posmatračke tehnike, taj broj povećao na oko 600.

Zvezde u središtu ovih maglina su vrlo značajne za proučavanje evolucije zvezda. To su vrlo vrele zvezde klase O, ali izuzetno slabog sjaja i ogromne gustine.

10.6. Zvezdana evolucija

Najveći broj astronoma danas smatra da zvezde nastaju sažimanjem oblaka relativno hladne međuzvezdane materije. Usled gravitacijskog sažimanja temperatura se povišava i kada u unutrašnjosti tzv. protozvezde dostigne oko 10 miliona stepeni sažimanje se završava, a počinju termonuklearne reakcije. Ovo je prva faza u zvezdanoj evoluciji.

U toku druge faze zvezda je stabilna, ne menja svoje dimenzije, i termonuklearnim reakcijama u jezgru nadoknađuje energiju koja odlazi zračenjem u prostor. U ovoj fazi zvezda provodi najviše vremena (oko 10^{-8} godina).

Kada istroši vodonik kao "gorivo", zvezda prestaje da bude stabilna i od njene mase zavisi njen dalji razvojni put.

Zvezde malih masa ($M < M_{\odot}$) sažimaju se sve dok im gustine u jezgru ne dostignu 10^{10} kg/m³. Ovakva materija se naziva "degenerisani gas", a zvezde se zovu beli patuljci. Oni nemaju izvore energije, pa se zračenjem hlade, postaju crveni patuljci i postepeno se gase. Ovo je treća i poslednja faza za zvezde malih masa.

Zvezde srednjih masa ($1,2 M_{\odot} > m > 3M_{\odot}$) imaju složeniju evoluciju. Njihovo jezgro se sažima i postiže uslove koji pogoduju "sagorevanju" belijuma, a u isto vreme omotač se širi, hladi i zvezda postaje crveni džin. Posle ove, treće faze, nije sasvim jasno kako postaje neutronska zvezda. Neke zvezde pretrpe katastrofalnu eksploziju (supernove). Njihovi omotači se šire kroz prostor (Krab-maglina), a jezgra im se pretvaraju u pulsare. Nije izvesno da li svaka neutronska zvezda, posle kratke faze crvenog džina, prolazi kroz fazu supernove. Neutronska zvezda je stabilna, mala, supergusta zvezda (10^{15} kg/m³) bez izvora energije, koja se postepeno hladi i gasi.

Zvezde velikih masa $M > 3M_{\odot}$ nezadrživo idu u tzv. gravitacijski kolaps. Prema teoriji, to su sasvim minijaturne zvezde ogromnih gustina 10^{18} kg/m³, čija je gravitacija toliko da ništa ne može da napusti zvezdu, pa čak ni svetlost. Zato su dobile naziv crne jame (sl. 123.). Njih je veoma teško otkriti. Kod dva para bliskih dvojnih zvezda pretpostavlja se da je možda jedna nevidljiva komponenta crna jama. Na ovo ukazuje pretakanje materije od svetle komponente na tamnu. Medjutim, to pretakanje, tzv. akrecija, dešava se i kod zvezda koje nisu crne jame. Na otkrivanje crnih jama usmereni su danas i posmatrački i teorijski radovi.



Sl. 123. Radio-galaksija M 87 izgleda da u središtu krije crnu jamu 5 biliona puta masivniju od Sunca

Naše Sunce je zvezda srednje veličine, koja u središtu "sagoreva" vodonik. Proračuni pokazuju da je Sunce staro oko 5 milijardi godi-

na i da će kao zvezda da živi bar još toliko.

U bližoj budućnosti ne pretil nam katastrofa ni od iznenadnog razduvavanja Sunca u fazu crvenog džina koji bi nas sagoreo, ni ledena smrt od sažimanja Sunca u belog patuljka. Sunce se sada nalazi u fazi stabilne zvezde koja zrači stalno istu količinu energije.

Z a d a c i

1. Planetna maglina u Liri ima prividni prečnik 83' i paralaksu 660 pc. Kolike su njene razmere u astronomskim jedinicama?

2. Prividna veličina cefeide u Herkulovom zbivenom jatu je 15,1. Po dužini periode zna se da joj je apsolutna veličina 0,0. Odredi daljinu jata.

3. Koristeći krivu "period - apsolutna veličina" za cefeide (sl.112.) odredi daljinu u svetlosnim godinama i pravi prečnik spiralne galaksije u sazveždju Trougao, ako joj je prividni prečnik 1° , period njenih cefeida 13 dana, a njihova prividna veličina 19,6. Izraz koji vezuje paralaksu za prividnu i apsolutnu veličinu cefeide je $\log p = -1 - 0,2 (m - M)$.

P o s m a t r a n j a

1. Posmatraj školskim teleskopom s malim uveličanjem jedno od tipičnih razvejanih zvezdanih jata (čiji su podaci dati u Astronomskom atlasu) i pokušaj da prebrojiš zvezde u njemu. Na školskom teleskopu s velikim uveličanjem posmatraj Herkulovo zbijeno jato. Posmatraj to isto jato i s većim teleskopom (na pr. na Narodnoj opservatoriji). Šta uočavaš?

2. Posmatraj 2-3 difuzne sjajne magline (prema podacima iz Astronomskog atlasa).

3. Posmatraj galaksiju u Andromedi na školskom teleskopu i većem teleskopu. Šta uočavaš na jednom, šta na drugom?

GLAVA XI

GALAKSIJE I KVAZARI

11.1. Vrste galaksija. Kvazari. Metagalaksija

Naša Galaksija nije jedini zvezdani sistem. U Vasioni postoji veliki broj drugih galaksija, od kojih svaka sadrži više milijardi zvezda. Njih možemo videti u svim pravcima. Ni prostor između galaksija nije apsolutno prazan, već je ispunjen izvanredno retkom materijom.

Velike daljine galaksija znatno otežavaju proučavanje, pa se njihova klasifikacija vrši po oblicima a ne po fizičkim osobinama. Sve galaksije delimo na tri osnovna tipa: spiralne, eliptične i neppravilne.

Spiralne galaksije su najsjajnije. One imaju u svojoj galaktičkoj ravni sočivasto središno jezgro i spiralne grane. Galaksija u sazveždju Lovački Psi (sl. 124.) je jedna od nama najbližih.



Sl. 124. *Spiralna galaksija u sazveždju Lovački Psi*

liona svetlosnih godina.

Razne spiralne galaksije su različito okrenute u prostoru, tako da neke gledamo "s lica", a neke "s boka". Spiralne galaksije rotiraju.

Njeno proučavanje je mnogo pomoglo da shvatimo gradju naše Galaksije. Astrofizika raspolaže mnogim činjenicama na osnovu kojih se može utvrditi da je naša Galaksija spiralne gradje, veoma slična Andromedinoj.

Oznaka spiralne galaksije u sazveždju Andromeda je M 31 ili NGC 224. Ona je veća od naše Galaksije. Njen galaktički prečnik je oko 60 kiloparseka. M 31 ima, osim zvezda, svoja globularna jata i difuzne magline. Udaljena je od nas oko dva mi-

Eliptične galaksije su najmasovnije. One imaju različitu spljoštenost. Neke od njih su sateliti spiralnih galaksija.

Na ogromnom prostoru u svim pravcima oko Mlečnog utra nalazi se preko milijardu galaksija. One se okupljaju u jata. Rastojanja između galaksija su veća nego što su dimenzije samih galaksija. Prostor između galaksija ispunjava medjugalaktička materija o kojoj, za sada, vrlo malo znamo. Jata galaksija najčešće sadrže nekoliko desetina galaksija, ali ih ima i sa znatno većim brojem.

Poslednjih decenija otkrivene su i galaksije koje zrače u opsegu radiotalasa energiju i 10^{26} puta veću od energije koju u radiodijapazonu zrači Sunce, pa su pristupačne radioteleskopima, iako su neke i na daljinama od više stotina miliona svetlosnih godina (npr. Labud A). To su radiogalaksije.

Najzad, 1963. g. otkrivena su i najudaljenija nebeska tela koja liče na slabe zvezde, a u radiodijapazonu zrače džinovske energije. Nazvana sukvazari (sl. 125.). Po tome što su im linije u spektrima jako pomerene ka crvenom delu smatra se da su veoma udaljene - na granici vidljive Vasiona i da se od nas udaljavaju brzinama koje dostižu i 80% brzine svetlosti. Po tome što brzo menjaju snagu zračenja smatra se da su malih dimenzija. Još nije objašnjen mehanizam po kome nadoknađuju ovoliku energiju izgubljenu zračenjem.

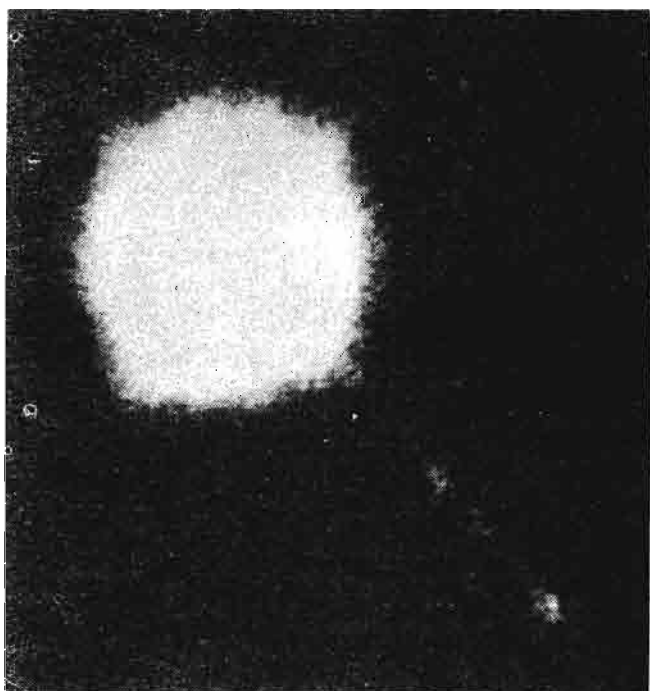
Postojanje zvezdanih sistema bilo je povod za pretpostavku o hijerarhijskoj gradnji Vasiona, pri čemu sistem višeg reda može imati nove kvalitativne osobine. Tako se javila ideja o postojanju džinovskog autonomnog sistema koji sadrži sve dosad poznate galaksije, jata galaksija i medjugalaktičku materiju. Ovaj hipotetički sistem nazvan je Metagalaksija.

Granice Metagalaksije označavaju astronomsku Vasionu. To je prostor koji se proteže do daljine od nekoliko milijardi svetlosnih godina i iz koga nam stižu obaveštenja putem elektromagnetskih talasa koje registrujemo i proučavamo. Zasad ne postoje mogućnosti da se upoznaju vanmetagalaktički sistemi.

11.2. Hablov zakon i njegovo značenje

Proučavajući zvezdane sisteme izvan našeg, Habl je prime-

tio da su linije u njihovim spektrima pomerene ka crvenom delu.



Sl. 125. Kvazar 3C 273 sjajniiji oko milion puta od Mlečnog puta, udaljen 2 biliona svetlosnih godina. Vidi se njegova još neobjašnjena erupcija visoka oko 150000 svetlosnih godina

Kako je već bio poznat Doplerov efekat, to je "crveni pomak" kod galaksija protumačen njihovim udaljavanjem. Godine 1929. Hابل daje empirijski zakon: "Galaksije se od nas udaljuju brzinama koje su srazmerne njihovim daljinama", koji se može napisati kratko

$$V = H \cdot D,$$

gde je V - radijalna brzina u km/s, D - daljina u Mpc, a veličina H - dobila je naziv Hablova konstanta.

Njena se vrednost danas ocenjuje na $50-100 \text{ km/s} \cdot \frac{1}{\text{Mpc}}$.

Odredjivanjem Hablove konstante postalo je moguće koristiti ovaj izraz za izračunavanje daljina do onih

tela koja emituju linijski spektar iz koga se može izračunati brzina V . Pokazalo se da se skoro sve galaksije udaljuju i razilaze jedna od druge. Posledica toga je ideja o širenju Vasiona. No sve ovo važi samo pod pretpostavkom da je Doplerov efekat uzrok crvenog pomaka. Otkriće radio-galaksija i kvazara pomerilo je granice Vasiona, jer su to tela koja imaju vrlo veliki crveni pomak. Zbog toga se smatra da su kvazari daleki stari, tzv. kosmološki objekti.

11.3. Kosmološke hipoteze i mikrotalasno zračenje

Širenje Vasiona prema Hablovom zakonu omogućilo je da pratimo njeno ponašanje u prošlosti. Recipročna vrednost Hablove konstante ima dimenziju vremena. Pre oko 10^{10} godina Vasiona je verovatno počela svoje širenje iz male zapremine vrele ultra-guste materije. To je danas prihvaćena hipoteza o "velikoj eksploziji".

U početnoj fazi materija je bila u obliku elementarnih čestica koje su međusobno bile u ravnoteži. Dolazi do eksplozije, Vasiona počinje da se širi i hladi. Stvara se vodonik reakcijom:



Ovu reakciju prati zračenje koje se zajedno sa materijom širi i hladi. Dolazi do stvaranja galaksije. Stvaraju se kvazari. I, najzad, imamo današnju fazu širenja vasiona.

Ako je ova hipoteza "velike eksplozije" tačna, onda bi trebalo da smo u stanju da registrujemo zračenje iz rane faze stvaranja vodonika, tzv. "reliktno" zračenje. To je pošlo za rukom dvojici američkih naučnika - Penzijasu i Vilsonu iz Belovih laboratorija. 1965. godine oni su registrovali mikrotalasno, dakle, radiozračenje koje ima raspodelu koja odgovara temperaturi crnog tela od $2,8^{\circ}\text{K}$. Izračunato je da bi upravo toliku temperaturu danas imalo "reliktno" zračenje iz "velike eksplozije". Zbog toga je ovom otkriću dat veliki značaj i publicitet. Da bi "velika eksplozija" postala prihvaćena teorija, potrebno je da se potvrde bar još neke pretpostavljene činjenice.

Što se tiče kosmoloških modela Vasiona, danas izgleda najverovatniji otvoren beskonačan model. Pri svemu ovome treba biti veoma obazriv u zaključivanju, jer nam je Hablov zakon polazna osnova. Teško je tvrditi da jedan prirodni zakon koji važi lokalno, mora da važi i kada se ekstrapoluje do tako ogromnih dimenzija kao što je Vasiona.

11.4. Značaj astronomije za stvaranje naučnog, dijalektičko-materijalističkog pogleda na svet

Sve teme koje smo prešli ukazuju na ogromnu sazajnu vrednost astronomske nauke i na mnogobrojne njene praktične primene za poboljšanje života društva i čoveka. Ali one isto tako imaju neizmernu vrednost i za stvaranje naučnog, dijalektičko-materijalističkog pogleda na svet. To su: 1. uzajamni uticaj nebeskih tela i njihovih uticaji na Zemlju (astro-geofizički problem), 2. život i razum u Vasioni (astro-biološki problem), 3. postanak i razvoj nebeskih tela (kosmogonski problem) i 4. gradnja Vasiona, opšti zakoni koji u njoj vladaju, njen "početak" i "kraj" (kosmološki problem).

Ali skoro da i nema teme koja na eklatantan način ne potvrđuje opšte dijalektičke zakone, a naročito 3 osnovna: 1. zakon jedinstva i borbe suprotnosti, 2. zakon negacije negacije i 3. zakon prelaza kvantitativnih promena u kvalitativne. Upravo korišćenjem njihovim i mogu se najpravilnije objasniti sve prirodne pojave koje astronomija izučava.

Navedimo samo nekoliko primera. Saznatljivost prirode jasno se potvrđuje iz naše mogućnosti da tačno predvidimo mnoge pojave i više vekova unapred, recimo pomračenja Sunca i Meseca, položaje nebeskih tela, ili njihova fizička stanja i procese razvoja, kao i da dodjemo do mnogih parametara o zvezdama koje se nalaze na ogromnim daljinama.

Postupnost prilaženja objektivnoj istini ilustruju nam sve teme, a najupadljivije postupnost saznanja o mehaničkim kretanjima tela u Sunčevom sistemu, preko shvatanja Ptolemeja do teorije Kopernika i, dalje, do zakona Keplera, Galileja, Njutna i Ajnštajna koji se na ovu temu odnose.

I sva astrofizička znanja su prožeta dijalektikom. To se potvrđuje kroz fizičke osobine planeta, zvezda i galaksija. Crveni džinovi, beli patuljci, tipovi promenljivih zvezda, supernove i pulsari ne pojavljuju se kao odeljene pojave, već kao razvojni oblici materije koja neprekidno prelazi iz jednog oblika i stanja u drugo.

Zakon jedinstva i borbe suprotnosti nalazi, na primer, jasnu potvrdu u evoluciji zvezda. Tu gravitacione sile vode borbu sa silama širenja gasova. Ova je protivrečnost upravo pokretačka snaga razvoja zvezda. Kada ona dovodi do nestabilnih stanja materije (pulsacije promenljivih, eksplozije novih i supernovih itd.) jasno se potvrđuje dijalektički zakon prelaza kvantiteta u kvalitet.

Veza i medjuzavisnost pojava jasno se potvrđuju na pojavama na Suncu i Zemlji i na njihovoj povezanosti.

Zakon negacije negacije isto tako se jasno potvrđuje na pojavi postanka zvezda raznih generacija. Prvo pokolenje zvezda postaje iz gasa izvesnog "prvobitnog" hemijskog sastava. Zvezda svojim postojanjem "negira" gas. Dalje, usled termonuklearnih reakcija u jezgrima zvezda one dobijaju teže elemente. Zvezda zatim

izbacuje u prostor deo gasa, ali drukčijeg hemijskog sastava od "prvobitnog". Njegova pojava "negira" zvezdu. Iz njega dalje postaju nove generacije zvezda drugog hemijskog sastava i toka razvoja od prve generacije.

Najzad i kosmogonske teme ukazuju nam na kvantitativnu i kvalitativnu beskonačnost materije, kao i na to da su prostor, vreme i kretanje samo vidovi ispoljavanja materije i bez nje ne mogu postojati.

Sve nas predjene teme ubedjuju u ispravnost shvatanja Marksističke filozofije da se dijalektički put saznanja kreće od neposrednog posmatranja, preko apstraktnog mišljenja do praktičnih primena. Ove poslednje zavise od razvoja nauke i potreba društva. Astronomija na taj način sa ostalim naukama doprinosi naučno-tehničkom i opštedruštvenom napretku.

Nalaženjem materijalnih zakonitosti za sve pojave koje su doskora u narodu izazivale strah i trepet i tumačile se postojanjem "viših sila" i "nadzemaljskih duhovnih bića", kao što su: repatice, meteori i meteorski pljuskovi, pomračenja Sunca i Meseca i dr., astronomija je jasno pokazala da nema nikakve razlike između "zemaljskog" i "nebeskog", da nema "viših sila" i "nadzemaljskih duhovnih bića", već da u beskrajnosti prostora i vremena materija samo menja svoje oblike i da sve pojave otuđ proističu. Samim tim se onda jasno otkriva sva besmislenost praznoverica i horoskopa. Sa kosmičkom erom u kojoj je čovek doneo na Zemlju uzorke sa Meseca i iz Venerine atmosfere koji su potvrdili ranije spektroskopske nalaze i hemijske analize meteorita, potvrđena je i jedinstvenost materije u Vasioni, njena saznatljivost, primenljivost prirodnih zakona na sve njene stanovnike i neograničenost moći čovekova saznanja.

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ
ИЗ Бр. 30.628
БИБЛИОТЕКА