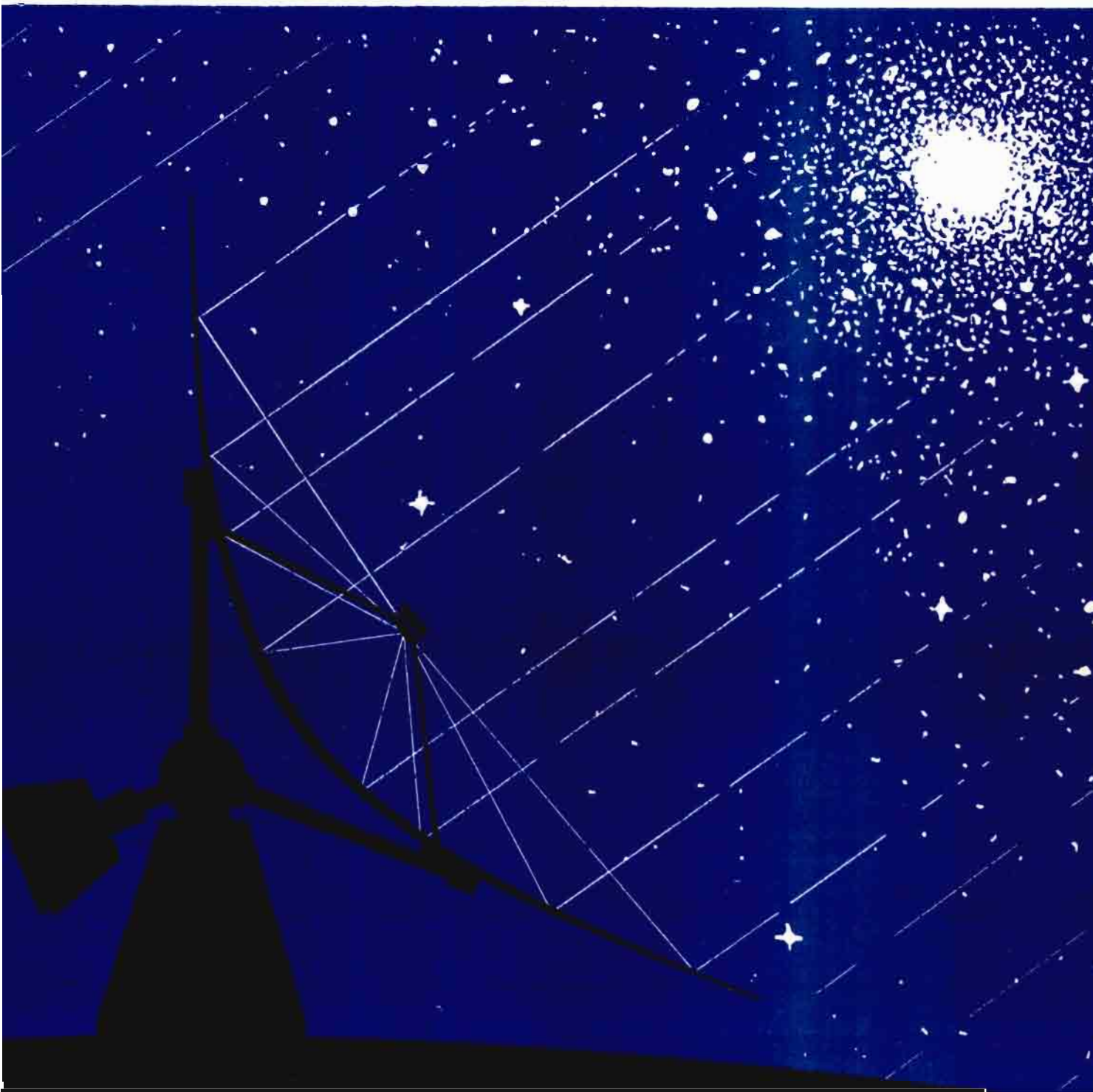


Др БРАНИСЛАВ М. ШЕВАРЛИЋ
Др МИРЈАНА ВУКИЋЕВИЋ-КАРАБИН
Мр СОФИЈА Н. САЏАКОВ

АСТРОНОМИЈА

ЗА IV РАЗРЕД ГИМНАЗИЈЕ ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКОГ СМЕРА

ЗАВОД ЗА УЏБЕНИКЕ И НАСТАВНА СРЕДСТВА • БЕОГРАД



Др БРАНИСЛАВ М. ШЕВАРЛИЋ, професор Универзитета
Др МИРЈАНА ВУКИЋЕВИЋ-КАРАБИН, доцент Универзитета
Мр СОФИЈА Н. САЏАКОВ, асистент Астрономске опсерваторије

АСТРОНОМИЈА

ЗА IV РАЗРЕД ГИМНАЗИЈЕ
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКОГ СМЕРА

ЗАВОД ЗА УЏБЕНИКЕ И НАСТАВНА СРЕДСТВА
БЕОГРАД

Рецензенти

Др *Ђорђе Телеки*, виши научни сарадник Астрономске опсерваторије у Београду,

Мр *Јелена Милоградов-Турић*, асистент Института за астрономију Природно-математичког факултета и професор Математичке гимназије у Београду, и
Станислава Рајковић, професор Четрнаесте београдске гимназије

Просветни савет Социјалистичке Републике Србије одобрио је овај уџбеник за употребу у четвртој разреди гимназије природно-математичког смера својим решењем ПС број 650-665/9 од 28. јуна 1974. године.

ПРЕДГОВОР

Досад у нас није било уџбеника астрономије за гимназију који би одговарао наставном плану и програму за предмет астрономија у СР Србији. Овим уџбеником покушали смо ове недостатке да отклонимо. Као први покушај те врсте, овај уџбеник сигурно мора да има извесне недостатке, па молимо све стручњаке и наставнике, а нарочито оне који се њиме користе, да нам помогну да их у следећем издању отклонимо.

Настојали смо да материјал буде на савременом научном нивоу и са најновијим подацима. Доста пажње поклоњено је и резултатима које је последњих година пружила астронаутика. Крупнијим слогом штампани су одељци предвиђени наставним планом и програмом, а ситнијим слогом делови који проширују општу културу ученика, а обавезни су само за ученике усмерених средњих школа, као што је, на пример, математичка гимназија. Добра допуна овом уџбенику је недавно штампани Астрономски аталас Б. Шеварлића и С. Саџаков, издање Завода за уџбенике и наставна средства, Београд. Задачи и елементарна посматрања, у границама расположивог времена или у виду слободних активности, освежиће наставу, учинити је очигледнијом, занимљивијом и више везаном за природу.

Београд, 1975.

АУТОРИ

ГЛАВА ПРВА

ОПШТИ ПОЈМОВИ

1.1. Шта изучава астрономија. — Астрономија¹ је најстарија и најтачнија природна наука. Она изучава положаје, привидна и права кретања, даљине, димензије, масе, физичку природу, хемијски састав, постанак и развој небеских тела и многе појаве везане за небеска тела.

Прво небеско тело које је човек упознао је сама Земља. Земља је тамно небеско тело, планета,² која заједно са још осам великих планета, с више хиљада малих планета (планетоида, или астероида), са мноштвом комета³ и метеора⁴ обилази око Сунца као једне просечне звезде, образујући тако прву насеобину небеских тела којој припада, познату под називом *Сунчев систем*. Њему припада још и Земљин тамни пратилац — Месец и више хиљада досад избачених вештачких Земљиних сателита,⁵ као и више сателита других великих планета и, најзад, ретка космичка прашина и гас којима је испуњен цен *Сунчев систем*.

Сунце, даље, са већим бројем суседних звезда сачињава једно *месно звездано јато*. Већи број оваквих јата образује *звездани облак* из каквог су изграђене спиралне гране нашег Звезданог система (Галаксије⁶), који са Земље видимо пројектован на небо као беличасту траку — *Млечни Пут*.

Даље, ни наш Звездани систем са својих око 300 милијарди звезда, од којих многе, као и Сунце, имају своје породице планета и њихових пратилаца, није усамљена појава у природи, нити је у неком изузетном положају према мноштву других сличних звезданих система, који представљају наше *месно јато галаксија*. Оно, са своје стране, припада једном огромном јату галаксија које смо назвали по сазвезђу Девојка, у коме са Земље видимо већину његових чланова.

Претпоставља се, најзад, не без основа, да су сва јата галаксија груписана у један још већи систем, који је у савременој астрономији назван *Метагалаксија*.⁷

Очевидно је, дакле, да је материја у васиони организована степенасто. То можемо јасно запазити и ако од Земље пођемо на супротну страну, у нове организационе јединице материје — у микрокосмос. Да ли су Метагалаксија, с једне стране, и честице атомског језгра, с

¹ Од грчке речи *астрон* = небеско тело и *номос* = закон.

² Од грчке речи *планетес* = луталица.

³ Од грчке речи *кометес* = коса.

⁴ Од грчке речи *метеорон* = ваздушна појава.

⁵ Од грчке речи *сателес* = пратилац.

⁶ Од грчке речи *Галаксиас* = Млечни пут.

⁷ Од грчке речи *мета* = много, велико.

друге стране, највећа и најмања јединка у организацији материје или се ова организација и даље наставља, можда чак у бескрај? На ово питање данашња наука још није дала свој коначан одговор.

Побројана небеска тела биће предмет нашег даљег подробијег упознавања.

До својих резултата астрономија долази двома основним методама: *посматрањем* (мерењем) и њиховом *математичком обрадом*. Посматрања се данас врше оптичким, електронским и другим инструментима. Зато је услов за успешно изучавање астрономије добро познавање математике и физике.

1. 2. Подела астрономије. — Према врсти истраживања, астрономија се дели на сферну и практичну, небеску механику, теоријску и звездану астрономију, астрофизику, космогонију и космологију.

Сферна астрономија даје математичка правила за дефинисање положаја небеских тела и изучава њихова привидна кретања, изазвана разним природним појавама.

Практична астрономија бави се испитивањем инструмената и методама за одређивање положаја тачака на Земљи, положаја небеских тела, за одређивање фундаменталних астрономских констаната, као и математичком обрадом посматрања.

Небеска механика, полазећи од закона механике, математички изучава законе правих кретања небеских тела и облике ових тела.

Теоријска астрономија из положаја небеских тела, одређених посматрањем, израчунава њихове путање — *орбите*, а из њих њихове положаје за сваки жељени тренутак у прошлости и будућности, тзв. *ефемериде*.

Астрофизика изучава физички и хемијски састав небеских тела и услове који на њима и у њима владају.

Звездана астрономија изучава законитости живота и кретања звезда и звезданих група у нашем и другим звезданим системима.

Космогонија се бави питањима постанка и развоја појединих небеских тела и њихових система.

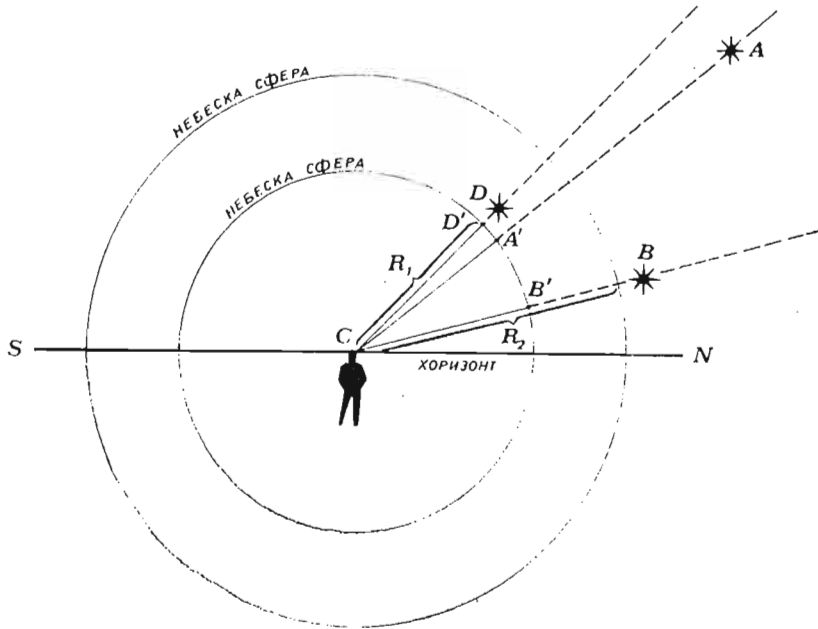
Космологија покушава да докучи законитости којима се повинује васиона као целина.

Кратак хронолошки преглед важнијих резултата и открића свих ових грана астрономије дат је у прилогу на крају књиге.

1. 3. Значај астрономије. — Астрономија има вишеструки значај. Она је, као фундаментална наука, обогатила ризницу људских знања и помогла подизању човекове културе. Она, осим тога, има велики идеолошки и васпитни значај у образовању правилног погледа на свет и у сузбијању празноверица и мистицизма. Најзад, поникла из практичних потреба људског друштва, она са својим све новим и новим практичним применама постаје неопходна савременом човеку. Она служи одређивању, одржавању и преношењу тачног времена, одређивању географских координата и премери Земље у научне, привредне и одбрамбене сврхе, она служи састављању календара и хронолошком рачунању, прекоморској и ваздушној пловидби и космопловству, пружа методе да се искористи енергија океанске плиме, као и Сунчева енергија. Она помаже геофизици у испитивању стања и састава Земљине коре, а физици у испитивању процеса у атомским језгрима, итд. Астрономија је, најзад, кроз читаву историју давала својим занимљивим, сложеним и корисним проблемима подстрек за развој читавог низа других наука.

1. 4. Небеска сфера и њени основни елементи. — Због огромне удаљености небеских тела не можемо непосредним посматрањем створити слику о њиховим даљинама. Зато их у првом изучавању сматрамо сва на једнаким даљинама, сматрамо да се налазе на површини једне замишљене лопте коју називамо небеска сфера (сл. 1). Дуж праве која спаја посматрачево око и небеско тело (A , B или D) (*визура*) пројектујемо свако небеско тело на небеску сферу и тако добијамо њихове *привидне положаје* (A' , B' , D') на небеској сфери. Изу-

чавајући промене ових положаја изучавамо у ствари њихова *привидна кретања*. Због бескрајности небеске сфере њено средиште можемо изабрати како је за који проблем потребно — у посматрачевом оку, у Земљиним или у Сунчевом средишту. Свака раван која пролази кроз средиште небеске сфере сече је дуж *великог круга*; свака раван која је сече, а не пролази кроз њено средиште, пресеца је дуж *малог круга*. Полупречник небеске сфере (R_1 или R_2) узима се за јединицу.

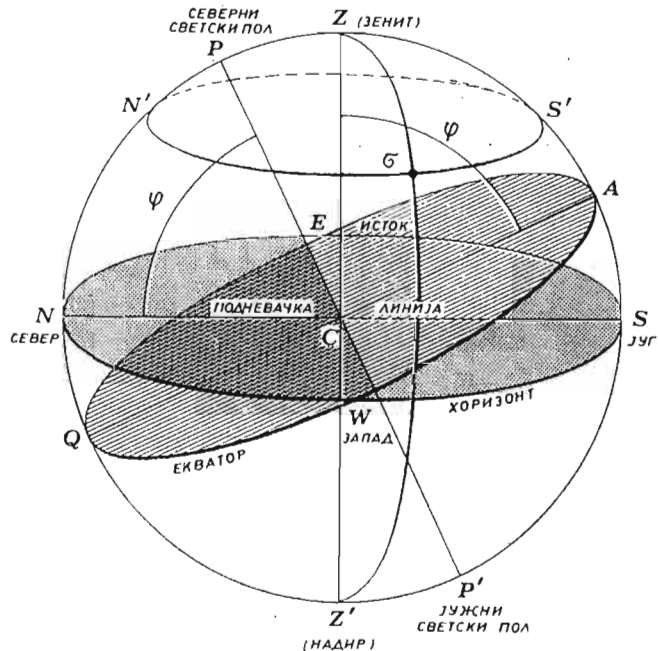


Сл. 1. Небеска сфера, визура, привидни положаји небеских тела

Основни елементи небеске сфере који служе као ослонац за оријентацију и за одређивање положаја тачака на Земљи и положаја небеских тела су: *вертикала, хоризонт, зенит, надир, алмукантар* и *вертикал* (сл. 2).

П р а в и х о р и з о н т SWNE је круг небеске сфере настао пресеком равни која додирује Земљу у месту посматрања (станици) са небеском сфером и стоји управно на вертикали. Треба га разликовати од *привидног хоризонта* — линије дуж које се „додирују небо и Земља“.

Зенит Z и **надир Z'** су тачке продора вертикале кроз видљиву небеску полусферу — изнад хоризонта и невидљиву — испод њега.



Сл. 2. Основни елементи небеске сфере

Алмукантар $S' \sigma N'$ је мали круг небеске сфере паралелан правом хоризонту.

Вертикал $Z \sigma Z'$ је велики круг небеске сфере дуж кога је сече свака раван која пролази кроз вертикалу — вертикална раван.

1. 5. Основне карактеристике небеских тела и важнијих сазвежђа. Упознајмо основне карактеристике звезда, имена сјајних звезда, упадљива сазвежђа и најмаркантнија небеска тела.

Три основне привидне карактеристике сваке звезде су боја, привидна величина и положај.

1° Боја звезде одређује се по најинтензивнијој врсти зрачења у њеном спектру, о чему ће касније бити више говора. Главне боје звезда су: плава (спектарски тип O и B), бела (A), жута (F и G) и црвена (K , M и N).

2° Привидне величине звезда увели су још стари грчки астрономи. Све звезде видљиве голим оком (2 000 — 3 000 на једној полусфери) делили су по степену сјаја на шест привидних величина. Звезде 1. привидне величине биле су најсјајније, а 6. најслабије. Кад је отпочела звездана фотометрија (мерење сјаја звезда), видело се да је свака следећа привидна величина 2,5 пута слабија од претходне. За најсјајније звезде, планете, Месец и Сунце ова скала је продужена у негативном смеру. Месец је у њој — 12,6 а Сунце — 26,8 привидне величине. За звезде слабијег сјаја усвојене су привидне величине веће од шесте. Највећим астрономским телескопом виде се данас и звезде 19. привидне величине, а на фотографским плочама уз више часова излагања и звезде 24. привидне величине.

Стари народи су због боље приближне оријентације у одређивању положаја звезда на небу делили звезде у групе—сазвежђа, којима су давали различита имена (било својих јунака, било животиња или предмета на које им се чинило да ова сазвежђа личе). Данас је *положај звезда дат њиховим координатама*, но ради брже и прегледније оријентације ова се подела и данас задржала, само су измењене границе сазвежђа. Најсјајније звезде имају своја имена. Осим тога обележавају се грчким словима⁸ уз ознаку сазвежђа. Звезде слабијег сјаја обележавају се латинским словима, још слабијег — бројевима уз ознаку каталога у коме се налазе координате звезде, њена привидна величина, боја и други подаци о њој.

3° *Циркумполарна група сазвежђа*. На северном делу небеске сфере најупадљивије и највеће сазвежђе су *Велика Кола*, или *Велики Медвед* (*Ursa Maior*) (види звездану карту на крају књиге). Ако продужимо око 5 пута размак између звезда α и β и у том смеру, долазимо до двојне звезде 2. привидне величине, која је у наше време само око 1° удаљена од пола (тачке у којој продужена Земљина обртна оса пробија северну небеску полусферу); та звезда је Северњача, или *Полара* (α *Ursae Minoris*). Она се налази у репу *Малог Медведа* (*Ursa Minor*), нешто мање сјајног сазвежђа, сличног облика с претходним.

⁸ Преглед грчке азбуке и потпунији преглед сазвежђа и сјајнијих звезда дати су у прилозима на крају књиге.

С друге стране овог сазвежђа, на приближно истом одстојању као и велики Медвед, налази се треће циркумполарно сазвежђе *Касиопеја* (Cassiopeia) у облику латинског слова W. Ова група сазвежђа у нашим крајевима никад не залази, већ се увек налази изнад хоризонта. Њој припадају још нека мање упадљива сазвежђа.

Услед Земљиног обилажења око Сунца, о чему ће се говорити касније, у разна годишња доба виде се с вечери над јужним делом хоризонта разне групе сазвежђа: *зимска* — према којој је окренут реп Малог Медведа, *пролећна* — испод Великог Медведа, *летња* — према којој је усмерен реп Великог Медведа и *јесења* — испод Малог Медведа.

4° *Зимска група сазвежђа.* У зимској групи су најмаркантнија сазвежђа: *Кочијаш*, (Auriga), *Бик* (Taurus), *Близанци* (Gemini), *Орион* (Orion), *Мали Пас* (Canis Minor) и *Велики Пас* (Canis Major). Најсјајније звезда у Кочијашу је α Aurigae, или Capella, у Бику α Tauri, или *Aldebaran* (у њему су и велика растурена или развејана јата — *Плејаде* и *Хијаде*). У Близанима су најсјајније две звезде α Geminorum — Castor и β Geminorum — Poluks, обе вишеструке. У Ориону, који обилује сјајним звездама, најсјајније су α Orionis — Betelgeuze и β Orionis — Rigel. У његовом „мачу“ позната је вишеструка звезда θ Orionis, као и велика дифузна маглина и тамна маглина „*Коњска Глава*“, која је у њеној близини. Најсјајнија звезда у Малом Псу је α Canis Minoris, или Procyon, а у Великом Псу α Canis Majoris, или Sirius; ово је и најсјајнија звезда на читавом небу.

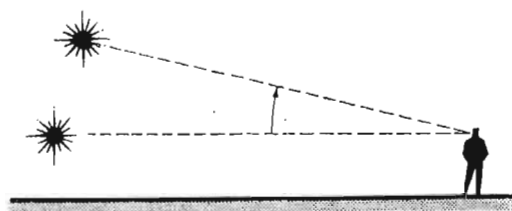
5° *Пролећна група сазвежђа.* У пролећној групи најуочљивија су три сазвежђа: *Рак* (Cancer), *Лав* (Leo) и *Девојка* (Virgo). У Раку се и слободним оком види велико растурено јато звезда Praesepae, или *Јасле*. У Лаву се истичу две сјајне звезде: α Leonis — Regulus и β Leonis — Denebola, а у Девојци сјајна звезда α Virginis, или Spica (Клас).

6° *Летња група сазвежђа.* У летњој групи су најмаркантнија сазвежђа: *Волар* (Bootes), *Северна Круна* (Corona Borealis), *Херкул* (Hercules), *Лири* (Lyra), *Лабуд* (Cygnus) и *Орао* (Aquila). Најсјајнија звезда у Волару је α Bootis, или Arturus. У Северној Круни α Coronae Borealis, или Gemma Херкул нема упадљиво сјајних звезда, али је позната по своме збивеном звезданом јату од око 40 000 звезда, које се виде и најслабијим дурбинима. Најсјајнија звезда у Лири је α Lyrae — Vega, у Лабуду α Cygni — Deneb и у Орлу α Aquilae — Altair.

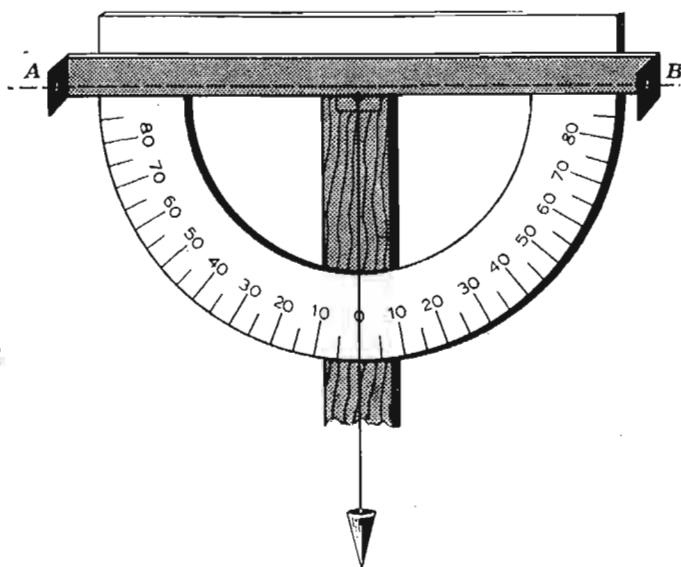
7° *Јесења група сазвежђа.* У јесењој групи су највочљивија сазвежђа: *Пегаз* (Pegasus), *Андромеда* (Andromeda), *Персеј* (Perseus), *Рибе* (Pisces) и *Кит* (Cetus). У Пегазу је најсјајнија звезда α Pegasi, или Markab, у Андромеди α Andromedae — Sirrah. Ово је сазвежђе чувено и по сјајној вангалактичкој спиралној маглини. У Персеју су, осим најсјајније звезде α Persei или Mirfak, чувена променљива звезда β Persei, или Algol, као и *двојно јато звезда*. У слабо уочљивом сазвежђу Рибе, које се састоји из звезда слабијег сјаја, налази се *тачка пролећне равнодневице*, или γ тачка (о којој ће се касније говорити). Она се налази испод сазвежђа Pegaz, кад се у правцу звезда α Andromedae и β Pegasa пренесе још једном њихов размак.

Уз помоћ набројаних сазвежђа и сјајнијих небеских тела у њима лако је наћи и остала, како на карти, тако и на самој небеској сфери.

1.6. Посматрања на небеској сфери. — Посматрања небеских тела врше се или ради испитивања њихове природе — астрофизичка посматрања или ради одређивања њихових положаја и кретања — астрометријска посматрања. Прва се обављају астрофизичким инструментима, и доводе нас до закона који владају физичком природом небеских тела, а друга астрометријским инструментима, и доводе нас до познавања положаја и кретања небеских тела. Основни астрономски инструмент који се употребљава за обе врсте посматрања је телескоп (дурбин). Под појмом „посматрање“ у астрономији се увек подразумева нека сасвим одређена врста мерења. При астрофизичким посматрањима то је мерење сјаја, анализа спектра и др., а при астрометријским посматрањима то је, већином, мерење неког угла (сл. 3).



Сл. 3. Мерење угла



Сл. 4. Висиномер (еклиметар)

Правац од посматрачевог ока до небеског тела назива се *визура*. Универзалним инструментом можемо мерити, нпр. угао између визуре и равни хоризонта. Често се овај угао, а и други, могу измерити, и приближно, приборима које можемо и сами направити, рецимо угао између визуре и хоризонта *висиномером* (*еклиметром*) (сл. 4), који се може лако направити од разредног угломера и виска.

Ако знамо да раширен педаљ испружене руке „одсеца“ на небеској сфери угао од око 15° , можемо углове на небеској сфери грубо мерити педљима. Тако, рецимо, можемо лако педљима измерити приближни угао између визуре на Северњачу и равни хоризонта, тзв. висину Северњаче или угао између визуре на два небеска тела. Како је полупречник небеске сфере једнак јединици, то је овај угао, или, како се друкчије каже, њихова угловна даљина, бројно једнак луку великог круга између два посматрана тела. Мерећи на пр. више пута углове између небеских тела и хоризонта запазићемо да се они мењају. Каже се да се мењају положаји небеских тела. Изучавајући промене њихових положаја ми изучавамо *кретања небеских тела* и откривамо законе који владају овим кретањима. Заједно с резултатима астрофизичких мерења астрономи тако откривају природне законе који владају васионом као свеукупним бескрајним простором који нас окружује и обухвата сву материју. Због огромних даљина небеских тела потребна су најчешће изванредно прецизна мерења да би се утврдили ови закони.

1.7. Основни астрономски инструменти. Напредак сваке науке зависи много од инструмената којима се она служи. Ово нарочито важи за астрономију чији су предмети проучавања толико удаљени.

Све до почетка XVII века човечје око било је једини пријемник зрачења небеских тела. Откриће телескопа је помогло оку и изванредно унапредило астрономију, као што је то недавно учинила ракетна и сателитска техника. Због тога неки аутори деле астрономију на претелескопску и преракетну. Не улазећи потанко у историјат открића и развоја свих астрономских инструмената, описаћемо само принцип рада неких најважнијих.

Телескопи. Телескопи су оптички инструменти који омогућавају оку да прими већу количину светлости помоћу система сабирних сочива или огледала. Ако се ради сакупљања светлости користе сочива, телескоп се назива *рефрактор*, а ако се користи огледало *рефлектор*.

Телескоп — рефрактор састоји се од два система сочива — *објектива* и *окулар* која се налазе на крајевима металне, изнутра поцрњене цеви (сл. 5). Дужина ове цеви одређена је условом да се жижне равни објектива и окулара поклапају.⁹



Сл. 5. Принцип рада телескопа

Објектив је систем сабирних сочива на уласку у телескопску цев, са циљем да сакупи што већу количину светлости. Што је површина објектива већа од ефективне површине зенице ока, то већи светлосни флуks (проток) пролази кроз објектив:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{\frac{1}{4}\pi D^2}{\frac{1}{4}\pi \delta^2} = \left(\frac{D}{\delta}\right)^2,$$

где је D пречник објектива, δ пречник ефективног отвора зенице, F_1 флуks који пролази кроз објектив, F_2 флуks који пролази кроз зеницу.

Окулар је систем сочива који има улогу лупе (мала жижна даљина); поставља се обично на други крај телескопске цеви. Он приближава лик оку посматрача, јер повећава угао под којим се види предмет.

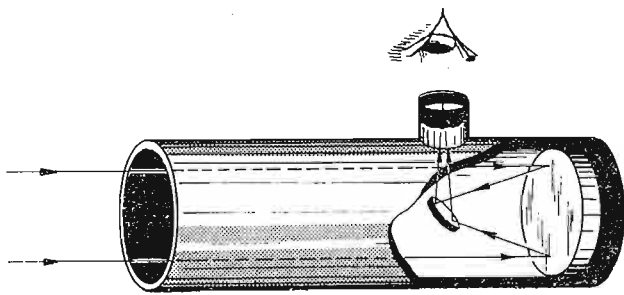
Повећање телескопа. Као што је познато из геометријске оптике, повећање телескопа је однос угла (β) под којим се види лик у окулару према углу (α) под којим се види предмет непосредно:

$$G = \frac{\text{tg } \beta}{\text{tg } \alpha} \approx \frac{\beta}{\alpha},$$

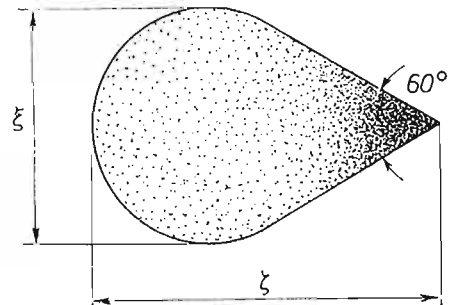
⁹ Пошто су основни појмови и особине оптичких система дати у физици, то их овде нећемо излагати.

где су тангенски малих углова замењени самим угловима. Први конструктор телескопа—рефрактора употребљеног у астрономији био је Галилео Галилеј (1609. год.). Његов највећи телескоп могао је да повећа 30 пута, објектив је имао пречник 5 cm, а дужина телескопске цеви је била 120 cm. Највећи телескопи—рефрактори могу да повећају предмет неколико хиљада пута, али се ретко користи повећање преко 500 пута због ограничења оптичких система и турбуленције Земљине атмосфере.

Телескоп—рефлектор се од рефрактора разликује по томе што се за објектив ради сакупљања светлости користи огледало уместо сочива (сл. 6). Један од првих телескопа—рефлектора конструисао је Исак Њутн (1671. год.). Изузетну вештину и одушевљење у изради и глачању металних огледала за телескопе показао је Вилијам Хершел, који је живео у XVIII и почетком XIX века.



Сл. 6. Телескоп—рефлектор Њутновог типа

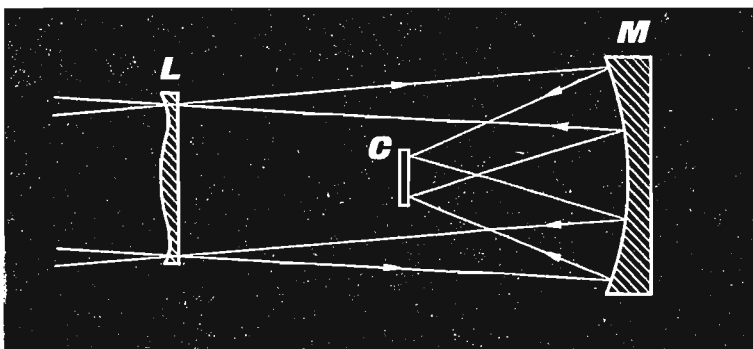


Сл. 7. Кома

Телескопи—рефлектори имају нека преимућства над рефракторима а то су:

- 1) лакше се израђују огледала великог пречника и потребног облика него сочиво;
- 2) нема хроматске аберације;
- 3) монтажа је механички погоднија јер се цела позадина огромног огледала учвршћује за подлогу, док се сочиво учвршћује само по ободу.

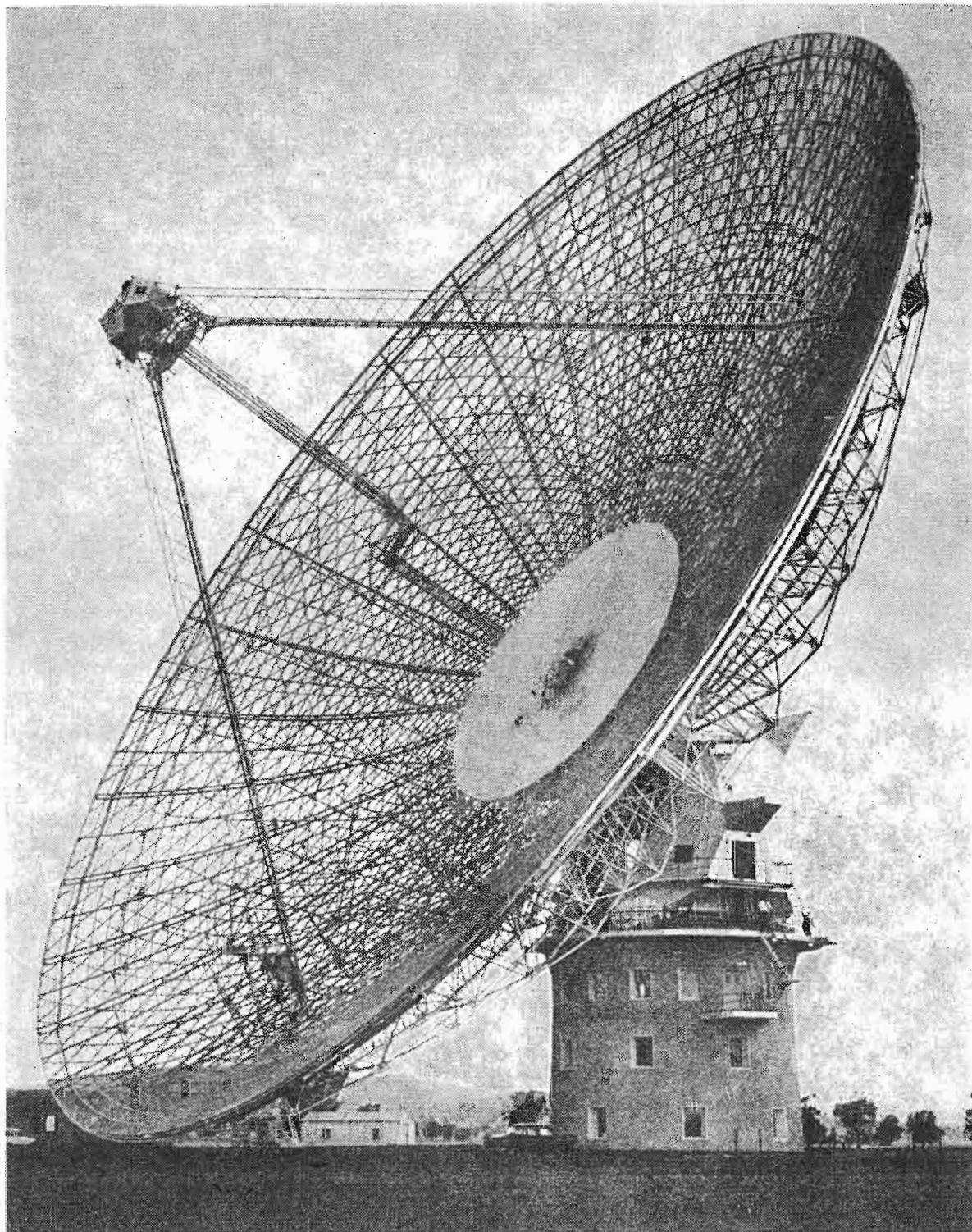
Ипак, рефлектори имају извесних недостатака. Један од њих је аберација, позната под именом кома. Ако паралелни сноп светлосних зракова пада на рефлектор под углом, као што је приказано на сл. 7, онда ће се лик изобличити, па ће се место круга добити развучен лик у облику кометиног репа.



Сл. 8. Шмитов телескоп

Сви ови недостаци отклоњени су код Шмитовог телескопа који је добио име по немачком оптичару Бернарду Шмиту.

Шмитов телескоп. Ако огледало није параболоидно него сферно, онда се осим коме јавља и сферна аберација. На улаз у телескоп (сл. 8), испред жишне равни, Шмит је поставио танку поправну плочицу (L) која исправља аберације сферног огледала. Када прођу кроз ову плочицу и одбију се од огледала (M), светлосни зраци дају у жижној равни (где се поставља фотографска плоча) оштар лик посматраног предмета. Многе велике опсерваторије, укључујући и Паломарску, користе Шмитову корекциону плочицу испред сферног огледала, чија је израда миого лакша од параболоидног.

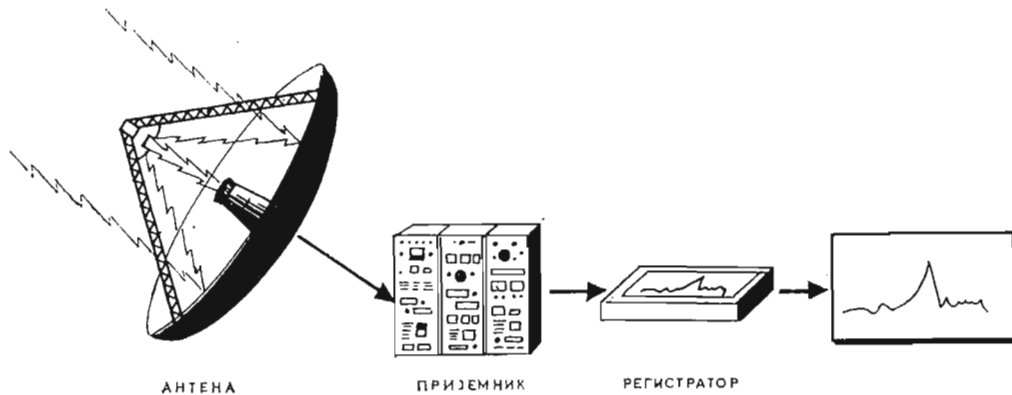


Сл. 9. Радио-телескоп

Поставка телескопа. Већина телескопа има паралактичку, тј. екваторску поставку тако да се могу окретати око две осовине. *Поларна*, или часовна, осовина је паралелна оси Земљине ротације, тако да је нагнута према хоризонту за угао који је једнак географској ширини тога места. Око те осовине телескоп се окреће паралелно небеском екватору и прати привидно дневно кретање звезде. Друга осовина назива се *деклинацијска* и под правим је углом у односу на поларну осовину. Окретањем око те осовине телескоп прати кретање по деклинацији. Свака осовина има своје кругове са угловном поделом. Круг на поларној осовини означава часовне углове звезде на коју је усмерен телескоп. Круг на деклинацијској осовини је издељен у степене деклинације. Помоћу ових кругова телескоп се лако може усмерити на небеско тело, ако се зна његов положај. Када се усмери у правцу небеског тела, укључује се механизам за праћење привидног кретања звезде.

Радио-телескоп. Осим видљиве светлости, небеска тела емитују и радио-таласе. Њих је први регистровао 1932. г. Карл Јански у Беловој лабораторији у Америци, на таласној дужини 14,6 m. По његовом имену јединица за флуks радиозрачења назива се 1 јански (износи $10-26 \text{ erg/s cm}^2$).

Радио-телескоп (сл. 9) можемо сматрати као инструмент који је сличан оптичком телескопу. Његова антена, која се често гради у облику металног параболоидног огледала, има исту улогу као и оптички објектив: да скупи у жижу што већу количину енергије радио-таласа. Под антеном код радио-телескопа подразумевамо пуно или решеткасто метално огледало у чијој се жижи налази дипол који сакупља радио-таласе. Радио-телескоп је схематски приказан на сл. 10. Из антене радио-таласи одлазе у појачивач, а затим у пријемник. Код радио-телескопа се не добија лик посматраног предмета, већ се региструје јачина сигнала који долазе из одређене области неба. Ови сигнали се региструју или на траци од хартије пером или на други начин.



Сл. 10. Схематски приказ радио-телескопа

Два највећа проблема у пријему и регистровању радио-таласа су изузетно мала снага ванземаљских радио-извора и мала раздвојна моћ радио-телескопа. Због тога се граде циновски радио-телескопи, а савремена електроника је открила нове појачиваче ванредно ниског шума, а врло великог појачања.

Највећи радио-телескопи у свету дати су у следећој табели.

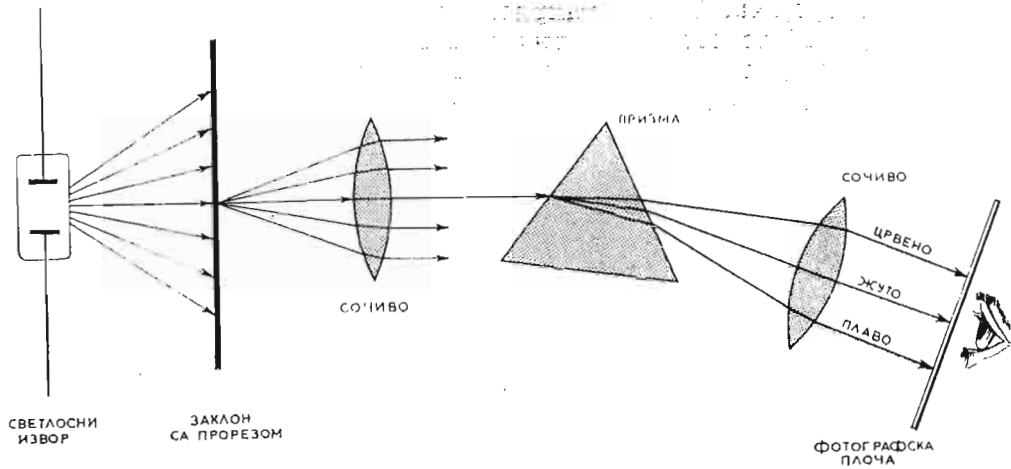
Име опсерваторије	Место	Карактеристике инструмента
Аресибо	Порто Рико	$D = 305 \text{ m}$, непокретна антена
Париска опсерваторија	Нансеј (Француска)	$D = 305 \text{ m}$, делимично покретна антена
Макс Планк Институт	Ефелеберг (Немачка)	$D = 100 \text{ m}$, потпуно покретна антена
Џодрел Бенк	Манчестер (Енглеска)	$D = 76 \text{ m}$, потпуно покретна антена

Осим параболоидних, постоје и другачији типови антена. Такви уређаји великих размера налазе се нарочито у Аустралији и Америци.

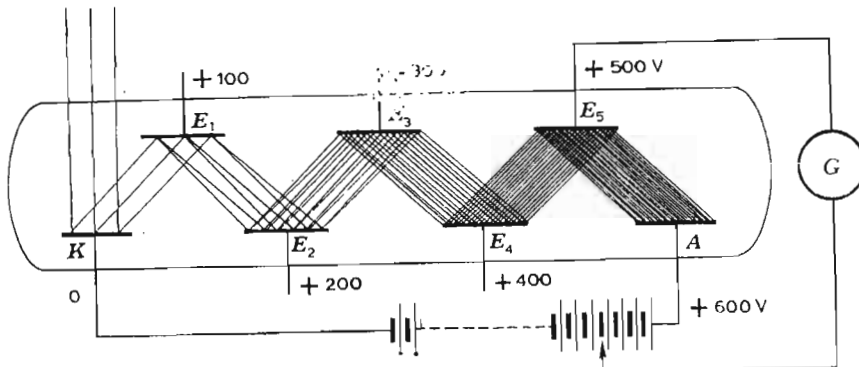
Спектроскоп је изузетно важан уређај који служи за анализу карактеристика светлосног извора на разним таласним дужинама. Помоћу њега може да се одреди хемијски састав и физичко стање звездане материје, а такође и релативно кретање, тј. приближавање и удаљавње небеског тела, тзв. *радијална брзина*.

Принцип рада спектроскопа приказан је на сл. 11. Главни делови спектроскопа су колиматор са уским прорезом, затим призма (или оптичка решетка), која паралелне зраке из колиматора разлаже у спектар, и најзад камера помоћу које може да се посматра разложени спектар.

Ако се добијени спектар региструје, а не непосредно посматра, онда се инструмент назива *спектрограф*.



Сл. 11. Спектроскоп



Сл. 12. Фотомултипликатор

Термоелементи су осетљиви инструменти који се стављају у живну раван телескопа и служе за одређивање температуре небеских тела. Састоје се од два различита метала на чијем се споју, под дејством зрачења, јавља слаба електрична струја која се мери галванометром. На тај начин могу да се измере изузетно мале количине топлотне енергије.

Фотографске методе. Модерна астрономија се из много разлога приликом непосредног посматрања небеских тела више ослања на фотографију него на човечје око. Једна од предности фотографске методе је могућност чувања снимака и њихових поновних прегледања, студирања и упоређивања. Фотографија се примењује у астрономији од средине XIX века.

Фотоелектрични фотометри. Фотоелектрични ефект, тј. да метал или нека друга материја под дејством светлости ослобађа електроне и образује струјни ток, примењује се у фотометрији небеских тела. Фотоћелија се поставља у жижу телескопа, а одговарајућим електронским инструментима појачава се и мери струја изазвана зрачењем посматраног небеског тела. Струја из фотоћелије је управно сразмерна јачини светлосног протока који пада на фотоћелију. Пошто су ове фотострује врло слабе, то се у последње време употребљавају тзв. *фотомултипликатори*, чији је схематски пресек дат на сл. 12. Светлост пада на фотокатоду одакле се ослобађају електрони, који погодним електричним током бивају убрзани и усмерени ка *диодима*. Све ослобођене електронске скупља плочица названа *колектор*. Електрична струја на колектору је обично милион пута јача од струје на првој диоди.

Специјални детектори зрачења. За регистровање и мерење зрачења изван видљивог и радио-спектра употребљавају се специјални уређаји. Тако се за X — и γ — зрачења употребљавају *Гајгер-Милерове цеви* и *пропорционални бројачи*. За инфрацрвено зрачење употребљавају се *германијумски болометри*. Мада сваки од ових уређаја има посебан принцип рада, можемо да кажемо да је за све њих заједничко то да се образује електрични сигнал који одговара фокусираном у жижи телескопа и да се тај сигнал мери.

ПИТАЊА

1. Шта изучава астрономија?
2. Којим се методама служи астрономија у свом испитивању?
3. Како се дели астрономија?
4. Какав значај има астрономија и какве су користи од ње?
5. Шта је небеска сфера?
6. Шта је визура?
7. Шта је привидни положај небеског тела, а шта његово привидно кретање?
8. Који су основни елементи небеске сфере?
9. Које су основне привидне карактеристике небеског тела?
10. Која маркантнија сазвежђа припадају циркумполарној групи?
11. Која маркантнија сазвежђа припадају зимској групи?
12. Која маркантнија сазвежђа припадају пролећној групи?
13. Која маркантнија сазвежђа припадају летњој групи?
14. Која маркантнија сазвежђа припадају јесењој групи?
15. Шта се у астрономији подразумева под појмом „посматрање“?
16. Како се деле посматрања?
17. Који су основни астрометријски инструменти и шта се све њима мери?
18. Који су основни астрофизички инструменти и шта се све њима мери?

ЗАДАЦИ

1. Ако школа нема фабрички еклиметар, направи га од разредног угломера.
2. Угао под којим се види Месечев пречник (тзв. Месечев привидни пречник) износи приближно $1^{\circ}/2$. Ако знамо да је пречник сферног балона 13 m, израчунај на ком се удаљењу налази балон кад му је угловни пречник два пута мањи од Месечевог.

ПОСМАТРАЊА

1. Са неке узвишице или кровне терасе покажи руком основне елементе небеске сфере.
2. Пронађи на небеској сфери сазвежђа из циркумполарне групе.
3. У свако годишње доба изиђи на неку узвишицу или кровну терасу бар по једном и пронађи на небеској сфери најмаркантнија сазвежђа из групе која одговара том годишњем добу. Запази промену у положају циркумполарних сазвежђа од једног годишњег доба до другог.
4. Израчунај линијско растојање између две звезде које се налазе на даљинама r_1 и r_2 , а на небеској сфери се виде на угловном растојању θ .
5. Нацртај небеску сферу пројигирану на раван хоризонта.

ГЛАВА ДРУГА

ПРИВИДНО ДНЕВНО КРЕТАЊЕ НЕБЕСКЕ СФЕРЕ. ПРИВИДНО ДНЕВНО И ПРИВИДНО ГОДИШЊЕ КРЕТАЊЕ СУНЦА

2. 1. Привидно дневно кретање (обртање) небеске сфере. Звездани дан. — Из непосредног искуства знамо да Сунце изјутра излази изнад хоризонта на источној страни (истоку), да се у току обданице пење равномерно по небеској сфери, да у подне достиже највећу висину над хоризонтом (кулминује)¹⁰, да се затим спушта на западној половини небеске сфере исто тако равномерно и да увече на западној страни (западу) зађе под хоризонт.

Ако се увече окренемо истоку, видећемо да и звезде тамо излазе изнад хоризонта, да врше исто привидно кретање по небеској сфери и да залазе на западу.

Ма колико дуго посматрали Северњачу, нећемо запазити голим оком да се креће. Остале звезде око ње, на пример оне из Великог Медведа, лако ћемо уочити да описују кругове, који су цели видљиви изнад хоризонта (сл. 13). У то ћемо се уверити и ако изложимо 15^m—20^m фотографску плочу окренуту Северњачи. У глави 4. видећемо да је ово кретање само привидно и последица Земљиног обртања око једног њеног пречника као осовине. Звезде које целе своје кругове описују изнад хоризонта називају се *циркумполарне*.¹¹

Звезде чије су угаоне даљине од Северњаче веће нису све време над хоризонтом. Део привидне кружне путање који те звезде описују над хоризонтом назива се *видљиви лук* (сл. 14), за разлику од дела путање под хоризонтом који се назива *невидљиви лук*.

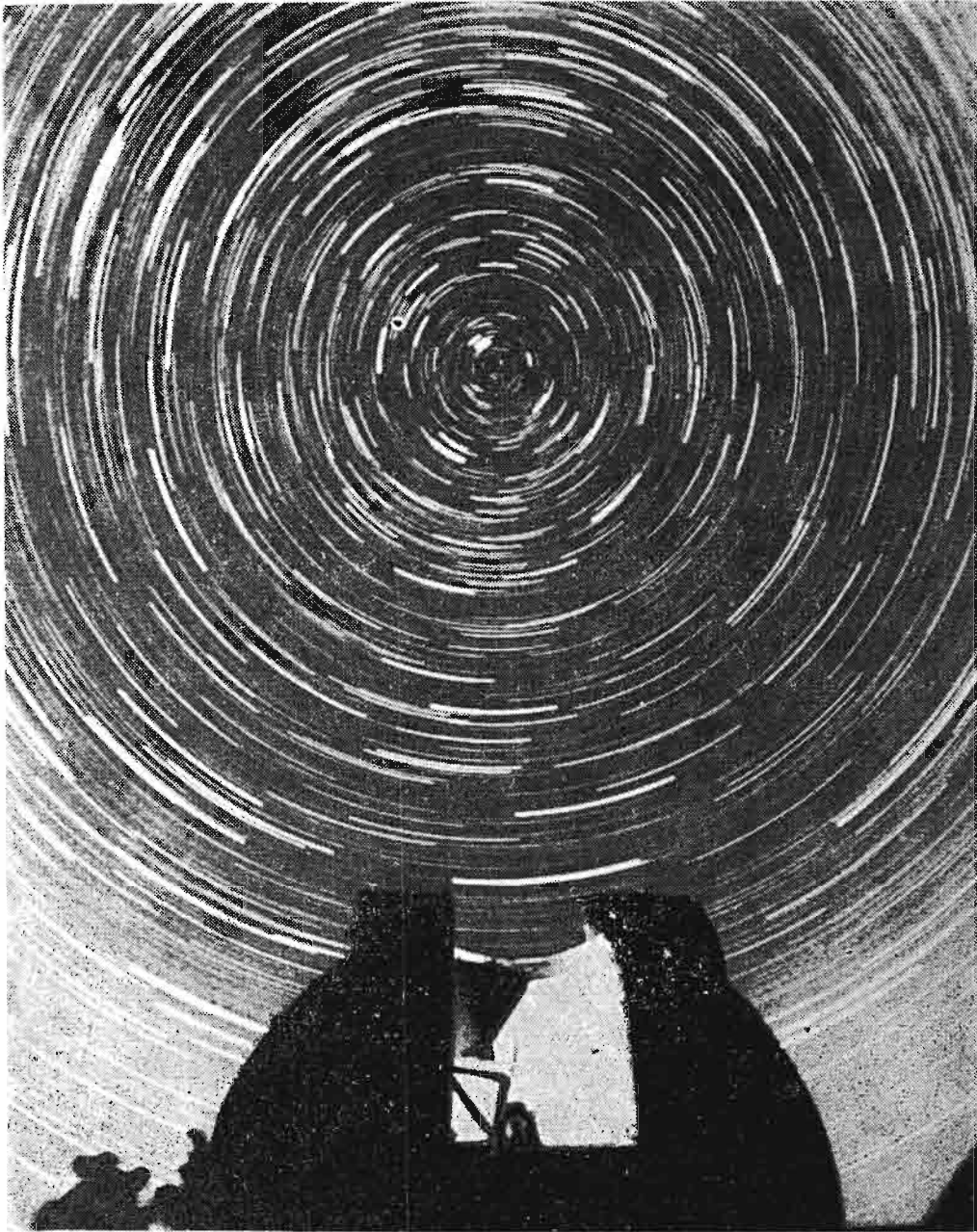
Постоје и звезде на супротној страни небеске сфере од Северњаче, које никад не излазе, већ су њихови цели привидни дневни кругови под *хоризонтом*. То су тзв. *антициркумполарне звезде*.

Оваквим и још прецизнијим посматрањима помоћу инструмената можемо утврдити:

- а) да се сва небеска тела крећу,
- б) да се сва крећу у истом смеру од истока ка западу;

¹⁰ Од латинске речи *culminare* — врхунити.

¹¹ Од латинске речи *circum* — око.



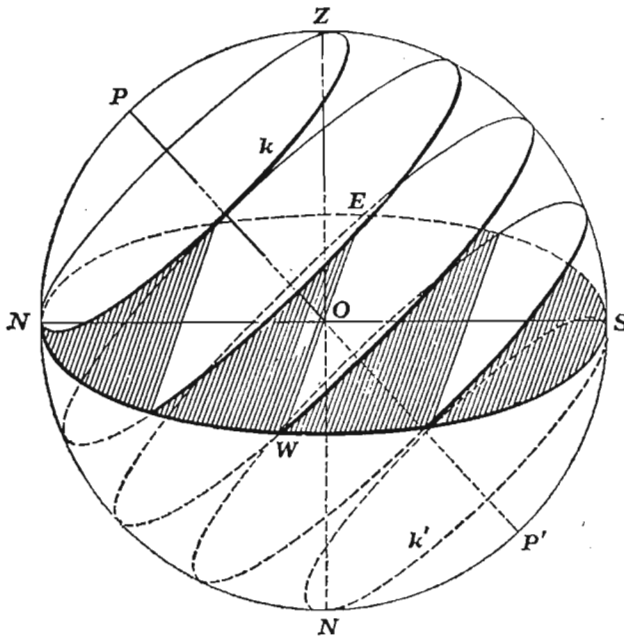
Сл. 13. Привидно дневно кретање (обртање) небеске сфере

- в) да се крећу једнаком угловном брзином;
- г) да се крећу по паралелним кружницама.

Зато нам изгледа да се небеска сфера као целина обрће са истока на запад око осовине која пролази кроз посматрачеву станицу и једну тачку на небеској сфери близу Северњаче.

Временски размак у коме она привидно изврши један пун обрт назива се *звездани дан*. Звездани дан је основна јединица за мерење времена. Она се дели на 24 звездана часа, сваки час на 60 звезданих минута, а сваки минут на 60 звезданих секунда. Пошто свака тачка небеске сфере опише пун угао од 360° за 24 звездана часа, то она за 1^h опише угао од 15° . Зато се у астрономији за мерење углова често

употребљава и часовна мера: $1^h = 15^\circ$, $1^m = 15'$, $1^s = 15''$, односно $1^\circ = 4^m 1' = 4_s; 1'' = 0^s 033$.

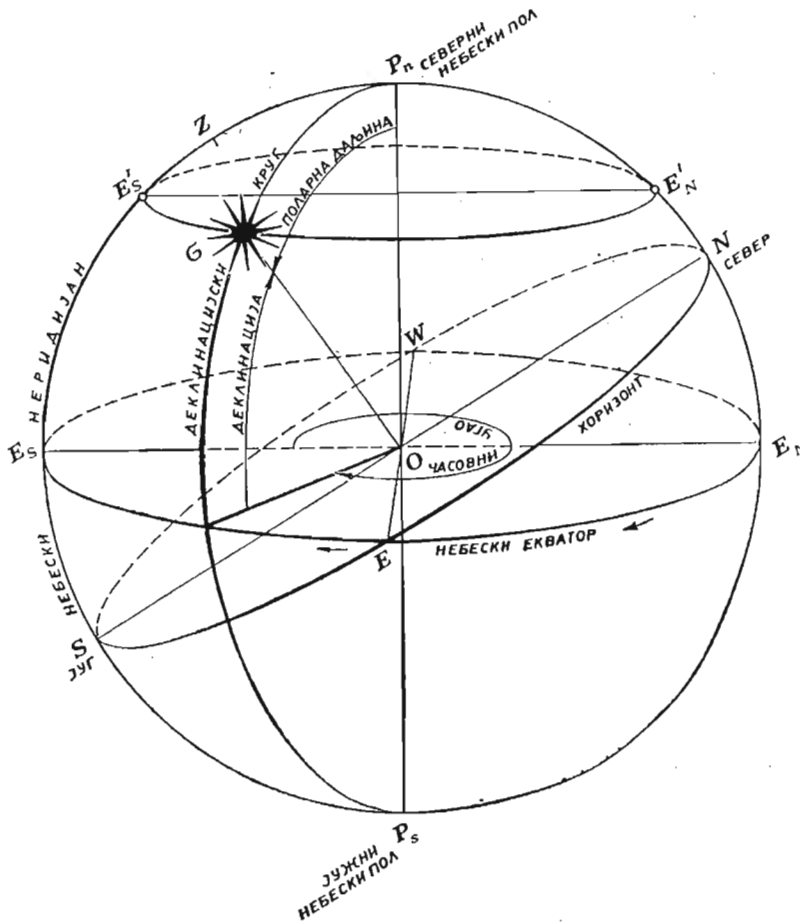


Сл. 14. Видљиви и невидљиви луци привидних кружних путања звезда

Прелаз са часовне мере угла на геометријску вршимо множењем њиховог мерног броја са 15, а прелаз са геометријске на часовну деобом са 15.

2. 2. Елементи небеске сфере изведени из привидног дневног кретања. — Права око које нам се чини да се за један звездани дан обрне небеска сфера као око осовине назива се *небеска поларна осовина* P_nOP_s , или *светска осовина* (сл. 15).

Тачке у којима светска осовина пресеца небеску сферу називају се *небески полови*: Северни P_n и Јужни P_s . Северни пол је онај из кога се



Сл. 15. Елементи небеске сфере изведени из привидног дневног кретања

види да се сва небеска тела привидно крећу у току звезданог дана у смеру казаљке на часовнику у ретроградном смеру.

Небески екватор E_sWE_nE је велики круг небеске сфере чија раван пролази кроз Земљино средиште и управна је на светску осовину. Он дели небеску сферу на две хемисфере (полулопте): северну и јужну, које се називају по истоименим половима који се на њима налазе.

Дневни паралел $E'_sO'E'_n$ је мали круг небеске сфере паралелан небеском екватору. Свака звезда у току звезданог дана привидно опише по један дневни паралел.

Деклинацијски круг P_nOP_s је велики круг небеске сфере чија раван пролази кроз светску осовину.

Небески меридијан посматрачеве станице P_nZP_s је велики круг небеске сфере чија раван пролази кроз вертикалу и светску осовину. Он, према томе, пролази кроз небеске половине и зенит посматрачеве станице.

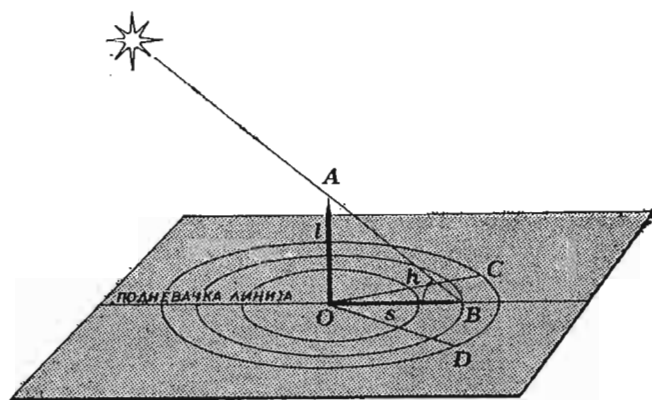
Небески меридијан сече прави хоризонт у северној N и јужној S тачки хоризонта; северна тачка је испод северног небеског пола, а јужна дијаметрално супротно од ње.

Права NS која спаја северну и јужну тачку хоризонта и пролази кроз посматрачеву станицу назива се *подневачка линија*. Дуж ње се секу равни хоризонта и меридијана.

Велики круг небеске сфере EZW , чија је раван управна на меридијанској, назива се *први вертикал*.

Источна E и западна W тачка хоризонта су и тачке пресека првог вертикала с хоризонтом. Права која их спаја управна је на подневачкој линији. Источна тачка се налази на оном делу хоризонта где небеска тела излазе, а западна на оном делу на коме залазе.

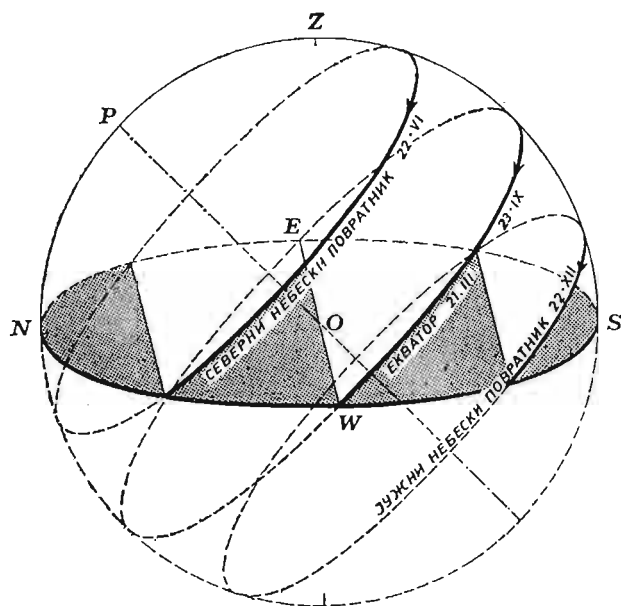
2. 3. Привидно дневно Сунчево кретање у току године. — Није тешко посматрањем (мерењем) показати да звезде из дана у дан не мењају своје тачке излаза и залаза. Напротив, већ се голим оком може лако запазити, ако се посматра из дана у дан, да се тачка Сунчевог излаза помера у односу на предмете на хоризонту, а исто тако и тачка залаза. Исто тако се и подневна највећа висина (кулминација) Сунца над хоризонтом из дана у дан мења, што се може утврдити и најпростијим старим инструментом — *гномом*. То је дужа игла пободена у равну подлогу (сл. 16). Ако опишемо око ње на подлози круг и сачекамо да



Сл. 16. Гномон и одређивање правца подневачке линије

га сенка пресече пре и после Сунчеве кулминације (тачке С и D), симетрала угла COD биће подневачка линија ОВ. Кад сенка игле падне дуж ње, тренутак је Сунчеве кулминације. Ако тада измеримо дужину сенке s и поделимо њоме висину игле l , лако добијамо подневну, или највећу, висину h Сунца из израза:

$$l/s = \operatorname{tg} h.$$



Сл. 17. Положај небеског екватора и повратника на небеској сфери

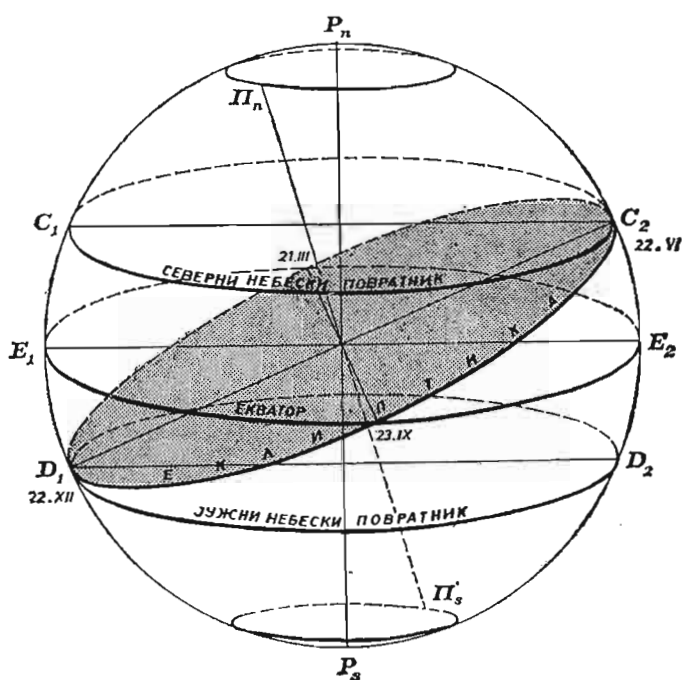
Ако је одређујемо из дана у дан, као и положаје Сунчевих тачака излаза и залаза, утврдићемо (сл. 17) да 21. марта Сунце излази у источној тачки Е и залази у западној тачки W. Његов дневни паралел је сам небески екватор. Видљиви лук који одговара дужини обданице једнак је невидљивом који одговара дужини ноћи. Значи, обданица и ноћ су једнаки. Тај се дан назива *пролећна равнодневица*. Следећих дана и недеља тачке излаза и залаза померају се ка северу, најпре брже, а затим све спорије; 22. јуна оне достижу највеће удаљење ка северу. Подневна ви-

сина Сунца над хоризонтом је све већа, а дан све дужи од ноћи; 22. јуна Сунчев дневни паралел назива се *северни небески повратник*, дан је најдужи у години. То је *летња дугодневица*. После тога тачке Сунчевог излаза и залаза почињу најпре споро, а затим све брже да се враћају ка источној односно западној тачки, подневна висина Сунца опада, а исто тако се обданица скраћује; 23. септембра тачка излаза је поново у источној тачки Е, а тачка залаза у западној тачки W. Сунчев дневни паралел је опет сам небески екватор, обданица је опет једнака ноћи. То је *јесења равнодневица*. После тога тачке Сунчевог излаза и залаза померају се ка југу, подневна висина Сунца и даље опада, његови су видљиви луци краћи од невидљивих и леже испод екватора. Обданица је краћа од ноћи и све краћа и краћа; 22. децембра Сунчеве тачке излаза и залаза достижу највећу угаону даљину ка југу, подневна висина Сунца је најмања у години, дневни паралел његов назива се *јужни небески повратник*; обданица је најкраћа. Тај дан се назива *зимска краткодневица*. После овог датума Сунчеве тачке излаза и залаза почињу најпре полако, па затим све брже да се враћају ка источној односно западној тачки, подневна висина Сунца почиње поново да расте, дан да дужа, да 21. марта Сунце опет изиђе у источној, а зађе у западној тачки. Појава се затим сваке године периодично понавља.

Како је Сунчево привидно кретање непрекидно, то очигледно његове дневне путање не могу бити раздвојене једна од друге већ повезане међу собом. Зато, строго узев, његове привидне дневне путање и нису *небески паралели*, већ *завојци једне завојнице која лежи између летњег и зимског повратника*, једном половином изнад, а другом испод екватора. Сваки поједини завојак је последица Земљиног обртног кретања и представља Сунчево привидно дневно кретање, те их има онолико колико има дана у години. Треба да видимо одакле читав низ завојака, зашто се Сунчево привидно дневно кретање разликује од привидног дневног кретања звезда.

2.4. Привидно годишње Сунчево кретање. — На последње питање можемо одговорити ако покушамо из посматрања да сазнамо да ли се и како Сунце у току године креће међу звездама.

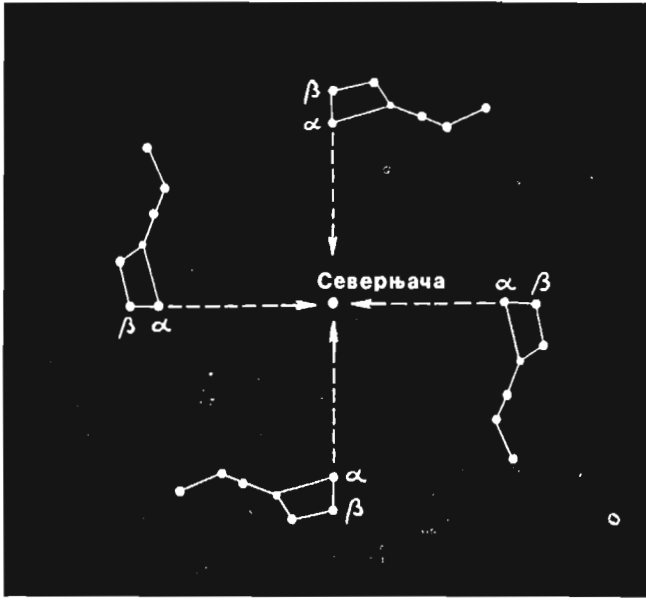
Због великог Сунчевог сјаја не могу се у његовој непосредној близини видети ни сјајније звезде, па чак ни већим астрономским дурбинима. Али на нешто већој угаоној даљини од Сунца могу се јаким инструментима видети сјајније звезде. Мерећи из дана у дан даљину Сунца од неке сјајне звезде није тешко утврдити да се Сунце креће међу звездама од запада на исток (у директном смеру), просечно за око 1° дневно, или за два Сунчева привидна пречника, и да у току године опише један велики круг по небеској сфери. Тај круг је Сунчева привидна годишња путања — *еклиптика* (сл. 18). У 4. 3. видећемо да је ово кретање само привидно и да је последица правог Земљиног обилажења по путањи око Сунца. Из мерења је, такође, лако утврдити да је еклиптика нагнута према небеском екватору $23^\circ 27'$, као и то да Сунце не преваљује сваки дан исти одсечак еклиптике, већ се на једном њеном делу креће нешто брже, а на другом нешто спорије но просечно.



Сл. 18. Положај еклиптике према небеском екватору

Ако не располажемо јачим астрономским дурбином, Сунчево привидно годишње кретање међу звездама по еклиптици можемо лако открити и голим оком ако запазимо једну сјајну звезду на западу која се прва појавила непосредно после Сунчевог залаза. Из дана у дан она ће се појављивати у исто доба дана све западније, што значи да јој се Сунце приближава крећући се привидно ка њој, тј. са за-

пада на исток. После тога ће Сунце ову звезду проћи и можемо уочити другу место ње, којој ће Сунце такође, из дана у дан све више

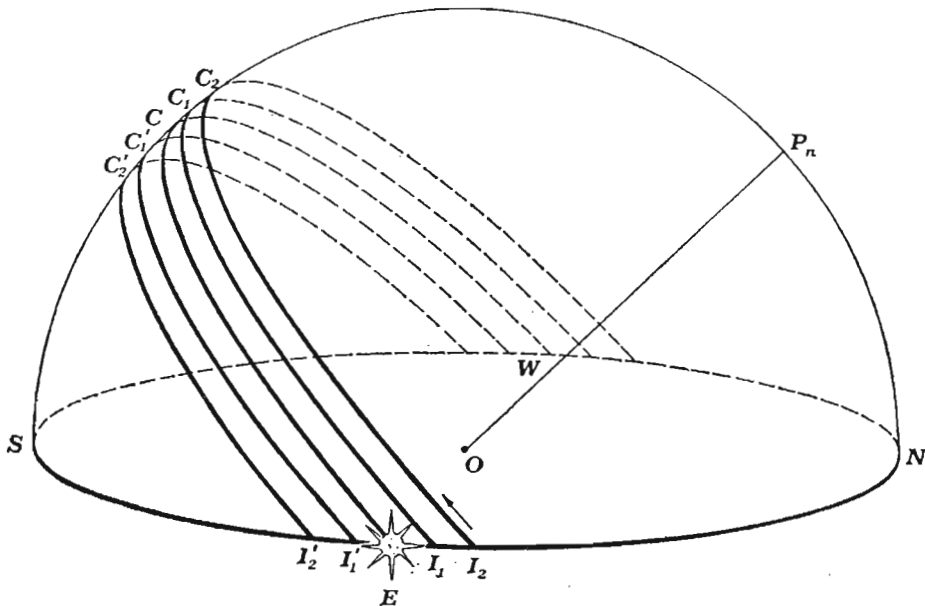


Сл. 19. Положај сазвежђа Велики Медвед у разна годишња доба

да се приближава и најзад проћи мимо ње. Од звезде до звезде можемо пратити цело Сунчево привидно кретање по еклиптици у току године.

Као доказ за привидно Сунчево годишње кретање можемо узети и промену изгледа звезданог неба из ноћи у ноћ у току године. Ако посматрамо изглед неба, нпр. јужног, сваке ноћи у исти час, видећемо да ће се он мењати тако што ће се звезде привидно померати ка западу и цео круг затворити тачно за годину дана. Још је лакше ово уочити на циркумполарним сазвежђима, рецимо на Великом Медведу, чији је положај у поноћ у разна доба године приказан на слици 19.

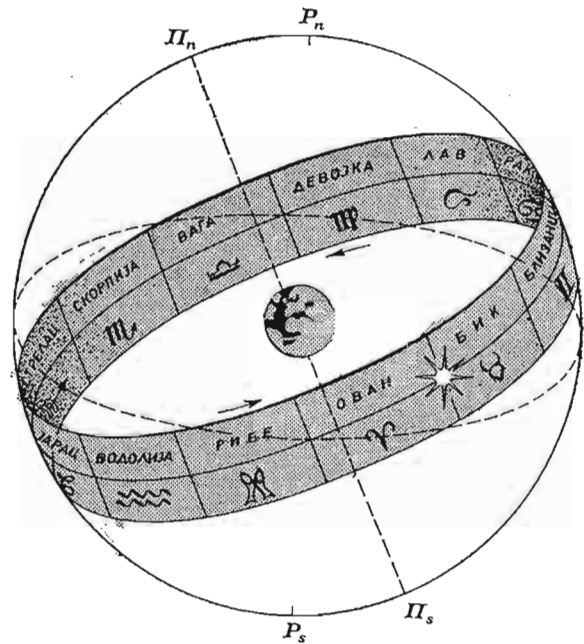
Сад је сасвим јасно зашто Сунце у току године привидно опише на небу завојницу (сл. 20). Сваком датуму одговара у ствари по један његов положај на еклиптици, а сваком његовом положају по један завојак, који оно привидно опише тога дана услед привидног дневног кретања. Завојница је, дакле, резултујућа путања Сунца услед ње-



Сл. 20. Резултујућа путања Сунца по небеској сфери (део изнад хоризонта)

гових привидних кретања — његовог привидног годишњег померања у директном смеру по еклиптици и његовог привидног дневног кретања у ретроградном смеру.

2. 5. Зодијак. — Крећући се привидно по еклиптици Сунце у току године прође кроз 12 сазвежђа (сл. 21), која скоро сва носе животињска имена, па су их стари Грци називали зодијак¹², што значи животињски појас. То су: Ован (δ), Бик (β), Близаци (γ), Рак (α), Лав (λ), Девојка (μ), Вага (ν), Скорпија (π), Стрелац (ρ), Јарац (σ), Водолија (ω) и Рибе (ϵ).



Сл. 21. Зодијак

У Хипархово доба (II век пре н. е.) тачка пролећне равнодевице, или гама-тачка (γ), налазила се у сазвежђу Овна (по коме је добила ознаку). Но ова се тачка помера ретроградно по еклиптици за $50''$, 2

годишње, као што је још Хипарх утврдио. Та се појава назива *прецесија* и о њој ће се касније више говорити (8. 6.). Зато се данас γ тачка не налази више у сазвежђу Ован, већ у сазвежђу Рибе. Како су астрономи утврдили зодијачке знаке за небеску сферу због њихове лакше употребе, па су они остали тако где су зодијачка сазвежђа била у Хипархово доба, то се данас, из поменутог разлога, више не поклапају зодијачка сазвежђа са истоименим зодијачким знацима. Тако, нпр., на дан пролећне равнодневице Сунце улази у сазвежђе Рибе, а каже се да улази у знак Овна. Но зодијачки знаци немају природну вредност.

2. 6. Елементи небеске сфере изведени из Сунчевог привидног годишњег кретања. — Из Сунчевог привидног годишњег кретања изведено је још неколико елемената (тачака и кругова) небеске сфере, који ће касније послужити за одређивање положаја и кретања небеских тела.

Поменимо најпре *еклиптику* $p E_s \cong E_s$ (сл. 22), или велики круг небеске сфере, чија равна пролази кроз њено средиште и заклапа се небеским екватором угао од $23^\circ 27'$. Еклиптика сече небески екватор у два тачкама.

Тачка пролећне равнодневице (γ) је онај њихов пресек у коме се Сунце налази на дан пролећне равнодневице (21. март), када прелази са јужне на северну небеску хемисферу.

¹² Зодијак је појас од 8° латитуде с обе стране еклиптике.

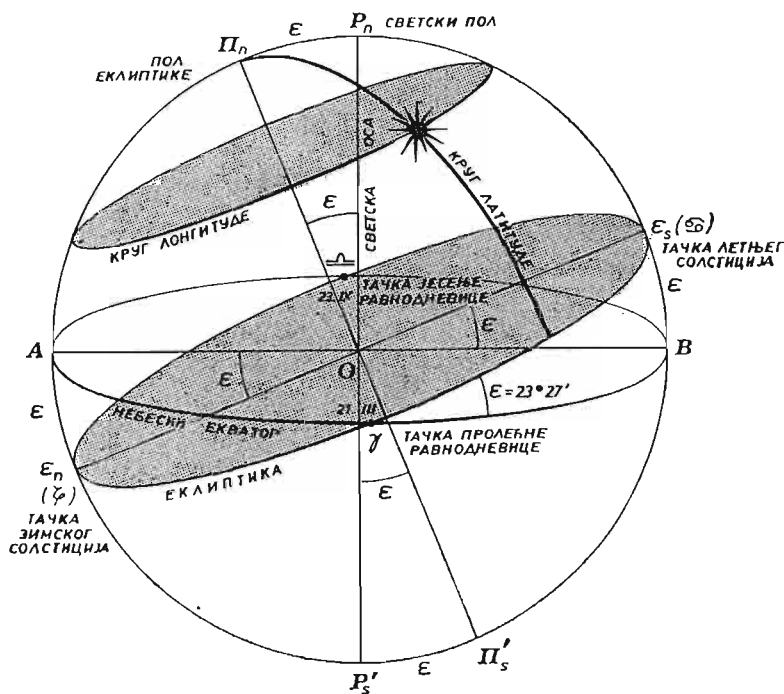
Тачка летњег солстиција (\odot) (E_s на сл. 22) је тачка у којој Сунце 22. јуна достигне највећу подневну висину над хоризонтом.

Тачка јесење равнодневице (\sphericalangle) је онај њихов пресек у коме се Сунце налази на дан јесење равнодневице (23. септембра) када прелази са северне на јужну небеску хемисферу.

Тачка зимског солстиција (♄) (E_n на сл. 22) је тачка у којој Сунце 22. децембра достигне за посматрача на северној Земљиној хемисфери најмању подневну висину над хоризонтом.

Летњи небески повратник, или Раков повратник, јесте небески паралел који пролази кроз тачку летњег солстиција.

Зимски небески повратник, или Јарчев повратник, јесте небески паралел који пролази кроз тачку зимског солстиција.



Сл. 22. Елементи небеске сфере изведени из Сунчевог привидног годишњег кретања

Права која пролази кроз средиште небеске сфере и стоји управно на равни еклиптике ($\Pi_n O \Pi_s$) назива се *поларна осовина еклиптике*. Она пробија небеску сферу у *северном полу еклиптике* (Π_n) и *јужном полу еклиптике* (Π_s).

Мали круг небеске сфере паралелан са еклиптиком назива се *круг лонгитуде*.

Велики круг небеске сфере, чија раван пролази кроз поларну осовину еклиптике, назива се *круг латитуде*.

ПИТАЊА

1. Који су елементи небеске сфере изведени из привидног дневног обртања небеске сфере, а који из Сунчевог привидног годишњег кретања?
2. Шта је звездани дан?
3. Шта је еклиптика, а шта зодијак и која сазвежђа он обухвата?
4. На коме се делу небеске сфере висина небеских тела повећава, а на коме смањује?
5. Да ли постоји место на Земљи из којег човек ма у ком правцу кренуо, иде на север?
6. Којим важним круговима небеске сфере не одговарају никакви важни кругови на Земљи?
7. У коме се месту на Земљи еклиптика поклапа са хоризонтом?
8. Под којим ће се условима пол еклиптике поклапати са посматрачевим зенитом?

ЗАДАЦИ

1. Нацртати небеску сферу пројигцирану на раван екватора, меридијана и првог вертикала.
2. Доказати да се хоризонт, екватор и први вертикал секу у истим диема тачкама хоризонта.

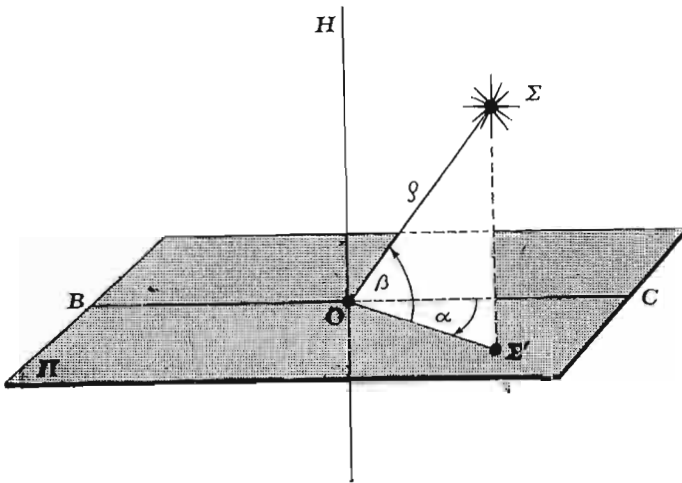
ПОСМАТРАЊА

1. На некој равној узвишици или кровној тераси учртај правац подневачке линије служећи се гномоном.

ГЛАВА ТРЕЋА

ОДРЕЂИВАЊЕ ПОЛОЖАЈА НЕБЕСКОГ ТЕЛА И ПОЛОЖАЈА ТАЧКЕ НА ЗЕМЉИ

3.1. Координатни системи у астрономији. — Да би се изучило кретање небеских тела, морају се одредити њихови прецизни положаји на небеској сфери. За ово је, пак, потребно изабрати најпогоднији координатни систем. У астрономији је то *сферни координатни систем*.



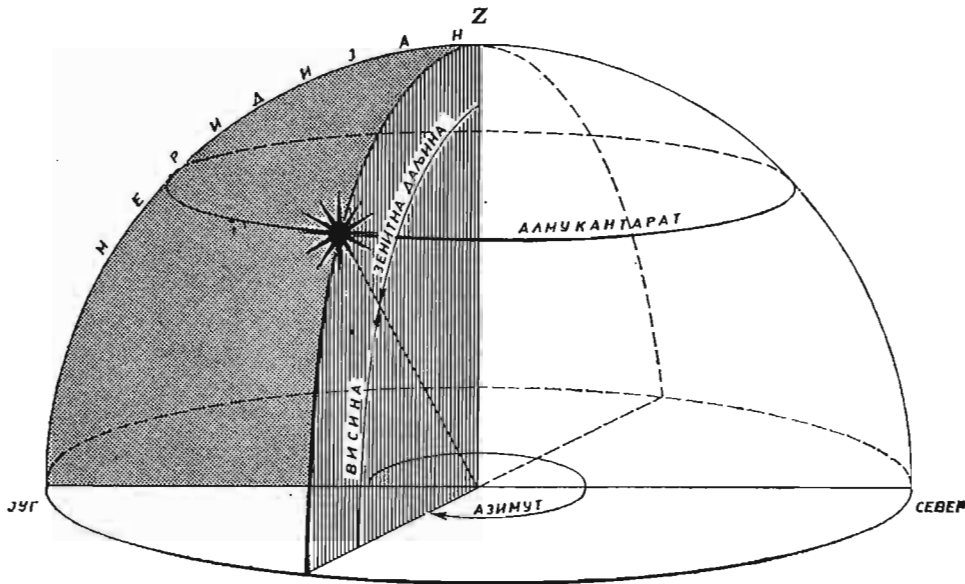
Сл. 23. Сферни координатни систем

Сферни координатни систем је одређен једном тачком O (сл. 23), као координатним почетком, *основном равни*, и затим *правом* *управном* на њој, *основним правцем* BOC од кога се мере углови у тој равни, и *смером* у коме се углови у њој сматрају позитивним. Координате у овом систему су *потег* и два угла α и β . У сферној астрономији се овај *потег*, као *полупречник* небеске сфере, узима за *јединицу* и тако *положај* небеског тела на небеској

сфери одређује само помоћ два угла. Тиме се сви рачуни знатно упрошћују, а осим тога у сферној астрономији се изучавају само привидна кретања небеских тела, тј. кретања њихових пројекција на небеску сферу. Узимајући за основну раван једном, кад нам је то потребно, раван хоризонта, други пут — раван екуатора, трећи пут — раван еклиптике, долазимо до 4 сферна координатна система у астрономији; то су:

1. хоризонтски координатни систем;
2. месни екваторски координатни систем;
3. небески екваторски координатни систем;
4. еклиптички координатни систем.

3. 2. Хоризонтски координатни систем. — У хоризонтском координатном систему координатни почетак је посматрачево око, основна раван — раван хоризонта, основни правац — подневачка линија NS (сл. 24) усмерена ка јужној тачки S, а смер мерења углова — ретроградни.



Сл. 24. Хоризонтски координатни систем

У хоризонтском систему (сл. 24) координате небеског тела су азимут A и висина h . Азимут A је угао у хоризонтској равни који се мери од јужне тачке S хоризонта до пресека σ' вертикала $Z\sigma\sigma'$ који пролази кроз небеско тело σ са хоризонтом, у ретроградном смеру (Обележи на слици!). Азимут за разна небеска тела може имати и разне вредности — од 0° до 360° .

Висина h је угао у вертикалној равни који се мери од хоризонта до визуре $O\sigma$ ка небеском телу. Може се кретати, за небеска тела изнад хоризонта, од 0° до 90° и за она испод хоризонта — од 0° до -90° .

Уместо висине се чешће употребљава зенитна даљина z . То је угао у вертикалној равни између правца вертикале OZ и визуре ка небеском телу $O\sigma$, а мери се од зенита Z . Може имати за разна небеска тела све вредности од зенита до надира, тј. од 0° до $+180^\circ$. Висина h и зенитна даљина z везане су, према томе, изразом:

$$h + z = 90^\circ.$$

Хоризонтске координате за једно небеско тело су различите у истом тренутку ако се мере на два разна места посматрања, јер је тада други координатни почетак. Оне се мењају у току времена иако су мерене са истог места због привидног дневног кретања небеског тела. Зато се каже да је овај координатни систем *месни*.

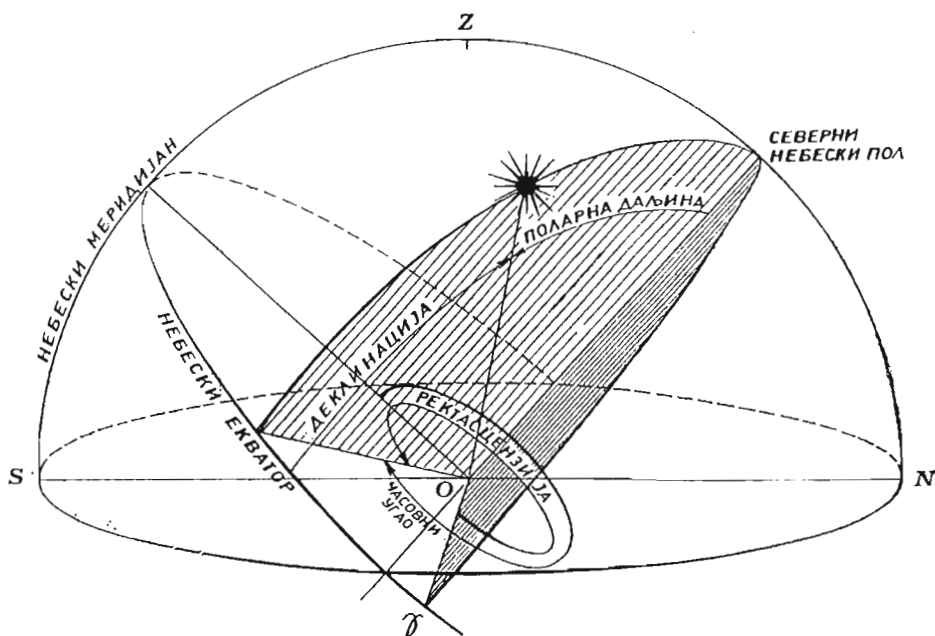
Координате се у њему мере малим астрономским дурбином који је снабдевен хоризонталним кругом за мерење азимута и вертикал-

ним кругом за мерење висине, или зенитне даљине, и који се назива *теодолит*. Нешто већи инструмент овога типа назива се *универзални инструмент*.

3.3. Месни екваторски координатни систем. Звездано време. —

И у овом систему је координатни почетак у посматрачевом оку, основна раван је *раван небеског екватора*, основни правац у њој — *правац ка јужној тачки* E_s на небеском екватору, смер мерења углова у њој *ретроградни*.

У месном екваторском систему (сл. 25) координате небеског тела су *часовни угао* t и *деклинација* δ . Часовни угао t у равни небеског екватора мери се у ретроградном смеру од јужне тачке E_s на екватору до пресека деклинацијског круга $P_n O s$ небеског тела са екватором. (Унеси ознаке у слику!). Часовни угао за разна небеска тела може узимати разне вредности — од 0° до 360° . Чешће се изражава у часовној мери од 0^h — 24^h .



Сл. 25. Месни небески екваторски координатни систем

Деклинација је угао у равни деклинацијског круга небеског тела који се мери од небеског екватора до визуре $O s$ ка небеском телу. За небеска тела северно од екватора износи од 0° до 90° и за она испод екватора — од 0° до -90° .

Место деклинације понекад се употребљава *поларна даљина* p . То је угао у равни деклинацијског круга између небеске поларне осовине $O P_n$ и визуре $O s$. За разна небеска тела, од северног до јужног небеског пола, може имати разне вредности — од 0° до 180° . Деклинација δ и поларна даљина p резане су, према томе, изразом:

$$\delta + p = 90^\circ.$$

Месне екваторске координате мере се астрономским инструментом који се назива *екваторијал* или *паралактички телескоп*. То је већи астрономски дурбин са два круга за мерење углова од којих један лежи у равни екватора и њиме се мере часовни углови, а други управно на раван екватора и њиме се мере деклинације. Екваторијалом се могу пратити небеска тела у њиховом привидном дневном кретању.

Пошто је за сва места на Земљи један небески екватор и пошто се привидно дневно кретање небеских тела врши по круговима паралелним екватору, то је деклинација δ непроменљива, како са променом места посматрања, тако и у току привидног дневног кретања уоченог небеског тела.

Напротив, часовни угао t мења се с местом посматрања (јер свако место има свој небески меридијан), а и с привидним дневним кретањем тела σ по његовом паралелу. Зато је и овај координатни систем *месни*.

Како је привидно дневно кретање једнолико, то се часовни угао једног небеског тела мења равномерно у току времена, *па се мерењем часовног угла може мерити време*.

За *звездано време* s у астрономији се сматра часовни угао γ тачке. Ово време показују звездани часовници којима се служе астрономи на опсерваторијама, геодети у премеру Земље и поморци за прекоморску пловидбу. Према степену тачности, то могу бити *хронометри*, чије одступање од тачног времена или поправка за један дан може достићи око $0^s,5$, *прецизни часовници с клатном* (сл. 51) који раде на сталној температури и под сталним ваздушним притиском, чија тачност може достићи $0^s,01$ на дан, затим *кварцни часовници* (сл. 52), чија тачност достиже $0^s,0001$ на дан и, најзад, најновији, *атомски часовници*, чија тачност премаша и $0^s,00001$ на дан.

Ми смо у 2. 1. већ дефинисали звездани дан као јединицу за звездано време. Овде само додајемо да је он 3^m56^s *звезданог времена* краћи од обичног дана; о томе ћемо говорити нешто касније.

3. 4. Небески екваторски координатни систем. — Да би се постигло да се и друга координата небеског тела не мења с местом посматрања и временом, и да би се положаји небеских тела могли одредити двама сталним бројевима, уведен је, осим месног, и *небески екваторски систем*, једном малом али значајном изменом у месном екваторском систему.

Наиме, место основног правца $O E_s$ у равни небеског екватора који је везан за место посматрања усвојен је правац ка γ тачки, $O \gamma$ који не зависи од места посматрања, јер је γ тачка везана за небеску сферу, а за смер мерења углова у екваторској равни овај пут је усвојен смер супротан казальки на часовнику, који се назива *директни*.

Тако су у небеском екваторском систему (сл. 25) координате небеског тела *ректасценција*¹³ α и *деклинација* δ ¹⁴. Док је деклинација δ

¹³ Од латинских речи *ascensio* = пењање и *rectus* = прав.

¹⁴ Од латинске речи *declinatio* = угловно одстојање небеског тела од екватора.

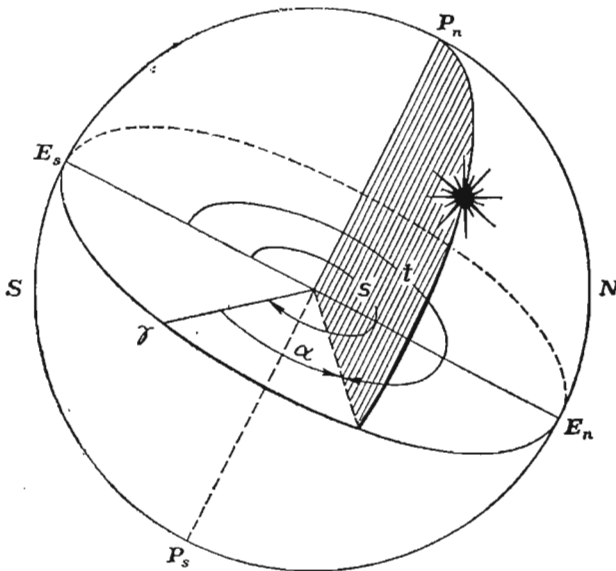
иста као и у месном екваторском систему, ректасцензија α небеског тела мери се у екваторској равни у директном смеру од правца ка λ тачка до равни деклинацијског круга звезде. За разна небеска тела може имати све вредности од 0^h до 24^h . Овај угао је сталан зато што деклинацијски круг γ тачке и деклинацијски круг звезде у току привидног дневног кретања не мењају међусобни положај, јер се небеска сфера привидно обрће као целина, па и γ тачка учествује у привидном дневном кретању.

Координате α и δ звезда, изведене из мерења, сврстане су у тзв. *звездане каталоге* и уцртане у *звездане карте*. На крају књиге дат је преглед ових координата за сјајније звезде, као и карта сјајнијих звезда.

3. 5. Веза између месног и небеског екваторског система. — Често је потребно при проучавању небеских тела са месних екваторских координата (t, δ) једног небеског тела у датом тренутку s звезданог времена прећи на његове небеске екваторске координате (α, δ).

Како је увек:

$$\delta \equiv \delta,$$



Сл. 26. Веза између месног и небеског екваторског система

треба само да нађемо везу између t и α . Она се остварује управо преко звезданог времена s . Са сл. 26 је очигледно да је увек:

$$s = \alpha + t,$$

тј. да је звездано време једнако збиру ректасцензије и часовног угла сваког небеског тела у датом тренутку. Напомињемо да од узетог збира треба одбацити 24^h ако се за њ добије износ већи од 24^h .

Из ове једнакости се види и то да је у горњој кулминацији (за $t = 0$):

$$s = \alpha.$$

Зато је звездано време у сваком тренутку једнако ректасцензији звезде која се у том тренутку налази у горњој кулминацији.

После звезданих 12^h небеско тело се налази у доњој кулминацији, па је тада:

$$s = \alpha \pm 12^h.$$

3. 6. Одређивање небеских екваторских координата за небеско тело. — Ректасцензија и деклинација најчешће се одређују меридијанским кругом. То је већи астрономски дурбин, причвршћен по средини управно на осовину која се крајевима ослања на два стуба и либелом доведе у хоризонталан положај. У

жижној равни објектива, где се образују ликови небеских тела разапет је најчешће крст паукових конаца. Дурбин се постави тако да му вертикални конац лежи у меридијану и дотера тако да уочена звезда, због свог привидног дневног кретања, клизи по хоризонталном концу. Кад њен лик пресече вертикални конац, забележи се време s које показује звездани часовник. Како је у меридијану.

$$\alpha = s,$$

то је овим одређена *ректасцензија* звезде.

Ако часовник има поправку C_p и његово показивање T не представља тачно звездано време s , онда је:

$$s = T + C_p.$$

У том случају бележи се T , а поправка C_p одређује се из посебних посматрања.

На хоризонталну обртну осовину меридијанског круга навучен је већи круг са угловном поделом по коме је инструмент и добио име. Из простих посматрања може се одредити читање круга које одговара небеском екватору. Претпоставимо да смо круг дотерали тако да се његова нула налази у екватору. У том случају ће, док први посматрач визира звезду, други посматрач помоћу микроскопа прочитати на кругу њену *деклинацију*.

У пракси инструмент никад не задовољава описане идеалне услове, па се појављују извесне систематске грешке у мерењима које се рачунски отклањају. Ова рачунска радња је неопходна при свим прецизним посматрањима и назива се *редукција* или *свођење посматрања*.

3. 7. Сунчево привидно годишње кретање у небеском екваторском координатном систему. — Ако из дана у дан, или што чешће, одређујемо Сунчеву ректасцензију (α_{\odot}) и деклинацију (δ_{\odot}) меридијанским пругом или универзалним инструментом¹⁵, добићемо преглед његових небеских екваторских координата за читаву годину. Њихове карактеристичне вредности дате су у табlici 1.

Таблица 1.

Датум	α_{\odot}	δ_{\odot}
21. март	0 ^h	0°
22. јун	6	23 ¹ / ₂ °
23. септембар	12	0
22. децембар	18	—23 ¹ / ₂ °
21. март	24	0

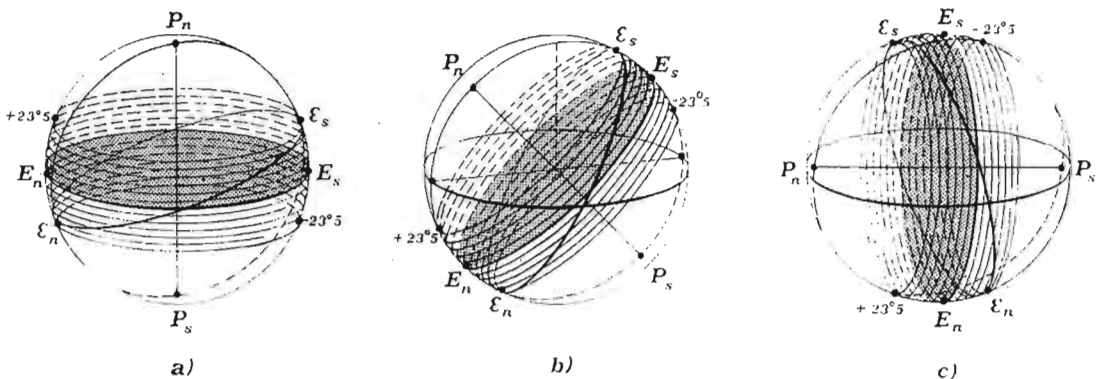
Ако нанесемо овако одређене Сунчеве положаје на звездани глобус или карту, видећемо да је пројекција Сунчеве привидне годишње путање на небеску сферу — еклиптика — доиста велики круг, чија раван пролази кроз Земљино средиште, који са небеским екватором заклапа угао од 23°₅ и по коме се Сунце креће у директном смеру (за посматрача са северне Земљине полулопте) (сл. 18).

Из ректасцензија и деклинација Сунца добијених посматрањем, се исто тако види да њихове дневне промене у току године нису једнаке. Први разлог овоме је што се Сунце *не креће равномерно* по еклиптици, а други што су ректасцензије и деклинације само компоненте

¹⁵ Оне се могу приближно одређивати и гномоном.

Сунчевог кретања по еклиптици, па њихова величина зависи од *нагиба еклиптике* према екватору и према деклинацијским круговима. Тако еклиптика у солстицијским тачкама сече управно деклинацијски круг, а паралелна је екватору. У еквинокцијским тачкама, пак, еклиптика сече деклинацијски круг под најмањим углом, а екватор под највећим углом. Зато је промена Сунчеве ректасцензије највећа око солстиција (око $4^m,5$ на дан), а најмања око еквинокција (око $3^m,5$ на дан). Напротив, промена Сунчеве деклинације је највећа око еквинокција (преко $23'$ на дан), а најмања око солстиција (испод $10''$ на дан).

Данас је Сунчево привидно годишње кретање тако добро познато да се његове ректасцензије и деклинације за сваки дан рачунају и објављују у астрономским годишњацима¹⁶ под називом *Сунчева ефемерида*.



Сл. 27. Привидно дневно кретање небеске сфере посматрано: а) са северног Земљиног пола; б) из средњих географских ширина; в) са Земљиног екватора

3. 8. Привидно дневно кретање небеске сфере посматрано са разних тачака на Земљи. — Посматрајмо најпре привидно дневно кретање небеске сфере из наших крајева. Нека је ту висина пола над хоризонтом φ . Тада са сл. 27, из геометријских разлога, очигледно излази:

1. Звезде с деклинацијом $\delta \geq 90^\circ$ — φ биће циркумполарне, тј. своје дневне паралеле описиваће целе изнад хоризонта.

2. Звезде с деклинацијом $\delta < 90^\circ$ — φ имаће видљиве и невидљиве лукове, и то видљиве веће од невидљивих.

3. Звезде чија је деклинација $\delta = 0$ имаће видљив лук једнак невидљивом.

4. Звезде чија је деклинација $\delta < 0$ имаће видљиве лукове мање од невидљивих.

5. Звезде чија је деклинација $\delta < -\varphi$ биће антициркумполарне, тј. целе своје дневне паралеле описиваће испод хоризонта.

За посматраче на северном Земљиним полу северни небески пол је у зениту, јужни у надиру (сл. 27а), а хоризонт се поклапа с небе-

¹⁶ Код нас алманах „Бошковић“ у Загребу и астрономске ефемериде као прилози у часописима „Васиона“ у Београду и „Протеус“ у Љубљани.

ским екватором. За њега су све звезде чија је деклинација већа од нуле циркумполарне, а све чија је деклинација мања од нуле — антициркумполарне. За посматрача на јужном Земљиним полу све је обротно.

За посматрача на Земљиним екватору (сл. 27с) небески екватор пролази кроз зенит, а светска осовина лежи у равни хоризонта и представља подневачку линију. Како све звезде описују око ње своје привидне кружне путање, то ће, очигледно, све звезде тамо бити видљиве и описивати половине својих паралела над хоризонтом, а половине под хоризонтом.

Одавде је очигледно и које су разлике у дужини обданице и ноћи на Земљиним половима, у нашим крајевима и у местима на Земљиним екватору. (Извучи сам закључак!).

3. 9. Еклиптички координатни систем. — За изучавање Земљиног кретања, као и кретања других великих планета Сунчевог система, које се никад много не удаљавају од еклиптике, употребљава се, као најподеснији, сферни координатни систем чија је основна раван равна еклиптике. То је еклиптички координатни систем. У тој равни је основни правац $O\gamma$ или правац ка γ тачки, а смер мерења углова директан.

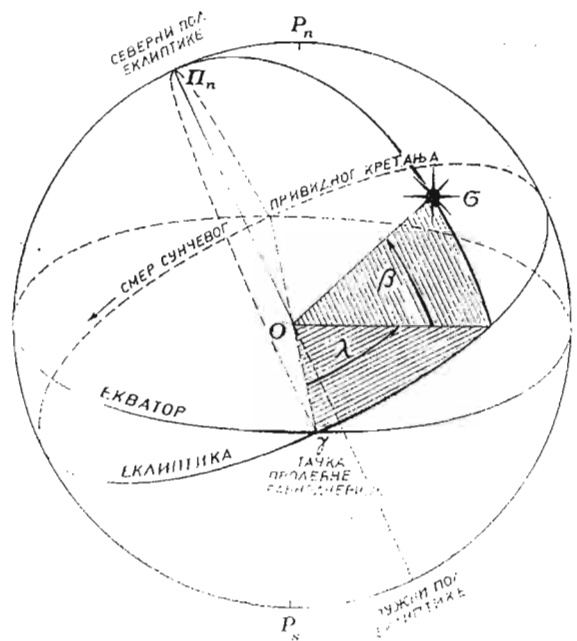
У њему су координате небеског тела небеска лонгитуда (λ) и небеска латитуда (β) (сл. 28). Небеска лонгитуда се мери у еклиптичкој равни, у директном смеру, од правца ка γ тачки до равни круга латитуде небеског тела и може узимати све вредности од 0° до 360° .

Небеска латитуда се мери од равни еклиптике до визуре $O\sigma$ ка небеском телу и за тела северно од еклиптике може узимати све вредности од 0° до $+90^\circ$, а за тела јужно од еклиптике — све вредности од 0° до -90° .

Уместо небеске латитуде понекад се употребљава и небеска колатитуда s или угао између поларне осовине еклиптике усмерене ка њеном северном полу Π_n и визуре. За разна небеска тела може узимати разне вредности од 0° до $+180^\circ$.

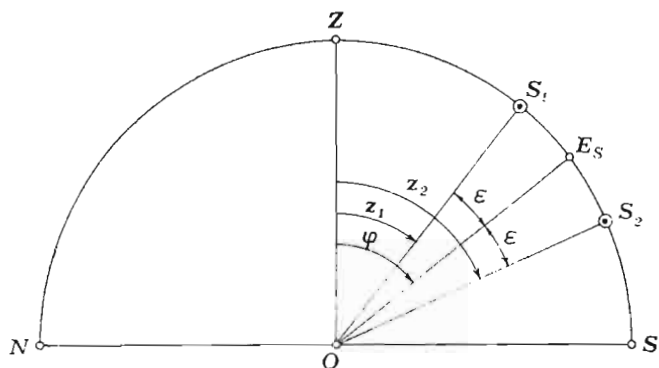
Небеска латитуда и колатитуда везане су изразом:

$$\beta + s = 90^\circ.$$



Сл. 28. Еклиптички координатни систем

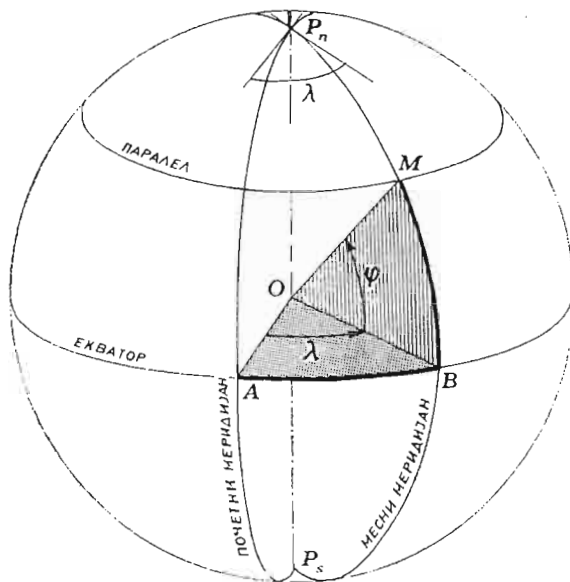
3.10. Одређивање положаја еклиптике. — Положај еклиптике одређује се њеним нагибом према небеском екватору и положајем γ тачке, тј. њеног пресека с небеским екватором.



Сл. 29. Одређивање нагиба еклиптике према небеском екватору

паду па доћи до положаја γ тачке. Њен приближни положај на небеској сфери, у сазвежђу Рибе може се наћи ако продужимо страну Пегазовог квадрата према хоризонту и на овај лук пренесемо још једном дужину ове стране.

3.11. Координате тачке на Земљи. — О тачнијем Земљиним облику и његовом одређивању говориће се у глави 6. Овде ћемо сматрати да је Земља у првој апроксимацији лопта. Тачке P_n и P_s (сл. 30), у којима светска осовина пробија Земљину површину, називају се *Земљини полови* — Северни и Јужни. Раван небеског екватора сече Земљину површину дуж кружнице која се назива *Земљин екватор*. Он дели Земљину лопту на северну и јужну полулопту, које се називају по истоименим половима. Равни паралелне екваторској секу Земљину површину дуж малих кругова — *Земљиних паралела*, или *упоредника*. Равни које пролазе кроз светску, односно Земљину, осовину секу Земљину површину дуж великих кругова — *Земљиних меридијана*.



Сл. 30. Координате тачке на Земљи

У екваторском координатном систему одређен је положај сваке тачке на Земљиној површини трима координатама: географском ширином, географском дужином и надморском висином те тачке.

¹⁷ Оне се могу приближно одредити из Сунчевих подневних висина измерених у ове датуме *гномоном*.

Географска ширина (φ) јесте угао који заклапа вертикала у датој тачки Земљине површине са екваторском равни. Са сл. 2 види се да је географска ширина једнака висини пола над хоризонтом те тачке. Изражава се у степенима, минутима и секундима и рачуна позитивном за места северно од екватора, а негативном за места јужно од њега. Одређује се астрономским методама (3. 12). Сва места дуж једног Земљиног паралела имају исту географску ширину.

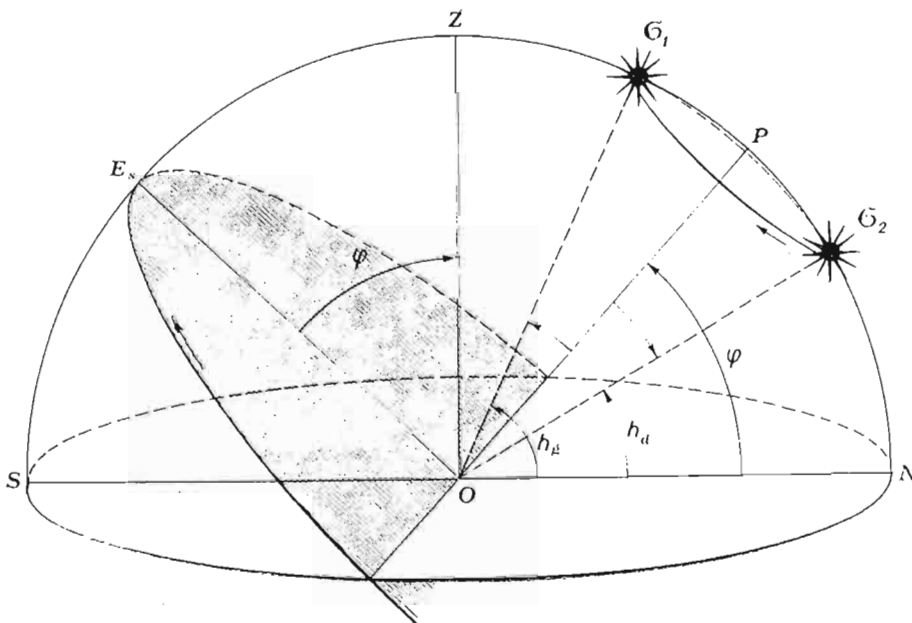
Географска дужина (L) јесте угао диједар између меридијанске равни почетног меридијана на Земљи и меридијана датог места. Изражава се, чешће, у часовима, минутима и секундама и рачуна позитивном за места западно од почетног меридијана, а негативном за места источно од њега. Одређује се астрономским методама (3. 13).

Данас је, међународним договором, за почетни меридијан усвојен меридијан који пролази кроз стару Гриничку опсерваторију (код Лондона).

Сва места дуж једног меридијана имају исту географску дужину.

Надморска висина (H) јесте висина у метрима дате тачке над мирним средњим морским нивоом који је замишљен да се протеже и испод свих неравнина на Земљиној површини и који се назива Земљина нулта површина нивоа. Одређује се сталним регистровањем висине морског нивоа и узимањем једне средње вредности.

3. 12. Одређивање географске ширине. — Ово се одређивање најпростије врши посматрањем звезде у меридијану места посматрања.



Сл. 31. Одређивање географске ширине из висине исте звезде у горњој и доњој кулминацији

Ако је деклинација звезде непозната, географска ширина се може одредити кад се измере теодолитом или универзалним инструментом, њене висине у горњој и доњој кулминацији, h_g и h_d . Узмемо ли, нпр., једну звезду која кулминује северно од зенита, са сл. 31. је тада очигледно да ће географска ширина бити:

$$\varphi = \frac{1}{2} (h_g + h_d).$$

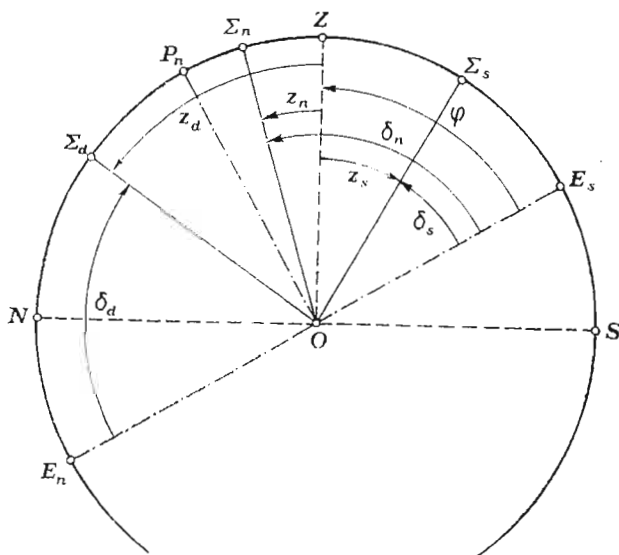
Ако је деклинација звезде позната, нпр. узета из астрономских ефемерида, онда се може лако одредити географска ширина из мерене висине или зенитске даљине звезде само у једној њеној кулминацији, нпр. горњој. Са сл. 32 је очигледно, ако је то звезда Σ_s која кулминuje јужно од зенита да ће бити:

$$\varphi = \delta_s + z_s.$$

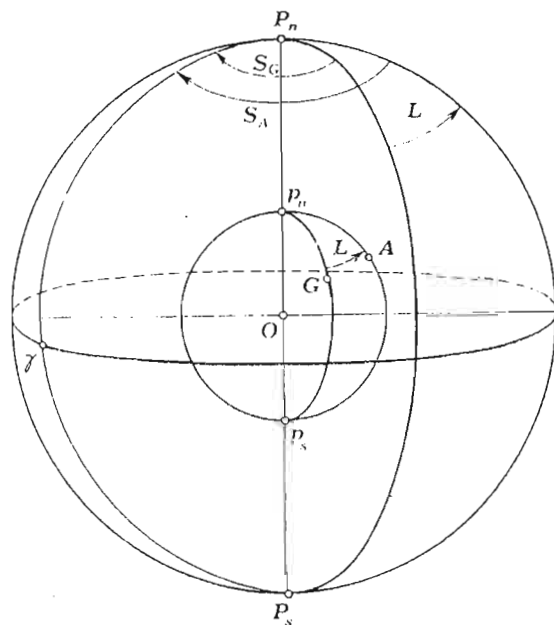
Ако је то звезда δ_n која кулминuje северно од зенита са исте слике види се да ће бити:

$$\varphi = \delta_n - z_n.$$

Географске координате већих места на Земљи дате су у Прилогу IV на крају књиге.



Сл. 32. Везе између географске ширине и зенитних даљина и деклинација звезда у меридијану



Сл. 33. Веза између географске дужине и месних звезданих времена два места

3.13. Одређивање географске дужине. — Са сл. 33 види се да је географска дужина L места A према Гриничу G :

$$L = s_A - s_G,$$

где је s_A угао између меридијана места A и деклинацијског круга γ тачке, тј. часовни угао γ тачке, или звездано време у тачки A , а s_G звездано време у тачки G , тј. у Гриничу. Географска дужина се, дакле, може представити као разлика звезданих времена у одређеном месту и Гриничу у истом тренутку.

Да би ова места располагала својим тачним звезданим временима, морају да одређују, с времена на време, поправке својих звезданих часовника посматрачким методама од којих ћемо једну упознати у 5. 3.

Претпоставимо да посматрачи из оба места знају поправке својих часовника и да су их дотерали да показују тачно време. Значи, посматрач у месту A треба да нађе горњу разлику, тј. да упореди ова два часовника. То је могуће захваљујући томе што Гриничка опсерваторија више пута дневно емитује часовне радио-сигнале тачног времена, тј. показивање свог часовника. Да би посматрач у месту A одредио горњу разлику, тј. географску дужину свог места, треба само да у тренутку пријема једног од сигнала (за који се унапред зна време s_A) забележи показивање свог часовника s_A који је дотерао да показује тачно звездано време места A . Ова се операција назива упоређивање часовника пријемом часовних сигнала. Сигнали се могу примати на слух, али се они са високом тачношћу

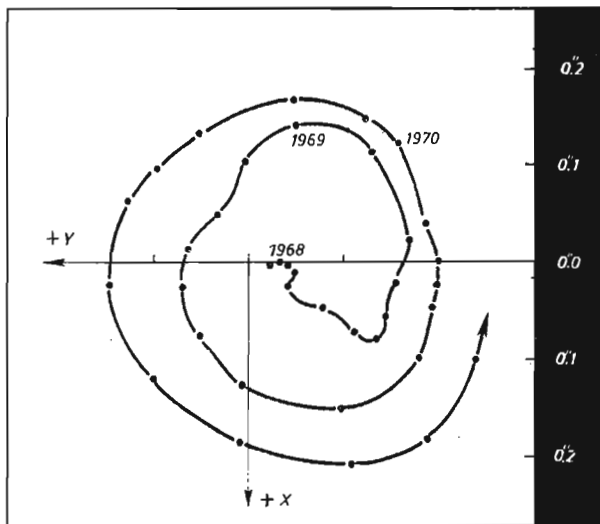
примају помоћу апарата који се назива *хронограф* и који бележи у истом тренутку и сигнал, тј. показивање гриничког звезданог часовника, и показивање месног звезданог часовника.

3.14. Примене астрономије у геодезији. — Снимање земљишта геодетским методама омогућује израду његових прецизних планова и карата разних врста, размера и намена у научне, привредне и одбрамбене сврхе. Али, ове се карте не могу поставити (оријентисати) према координатној мрежи Земљиних меридијана и паралела ако није на већем броју тачака те територије (тзв. Лапласових тачака) астрономски одређена географска ширина и дужина. Исто тако, не може се одредити ни прецизан Земљин облик (геоид, видети 6.1) ако на још већем броју тачака (тзв. геоидне тачке) нису претходно астрономски одређене географске координате.

Сталним одређивањем географских ширина на већем броју станица на Земљи откривене су, крајем прошлог века, и систематске периодичне промене тих ширина које се јављају због тога што Земљини полови нису непомицни на Земљиној површини, већ се периодично крећу по једној неправилној *спирали* (полходија), која се повремено шири и скупља, али не излази из круга полупречника од 25 m (сл. 34). Ово померање Земљиних полови има две периоде: годишњу и тзв. Чендлерову (од 14 месеци), као и још неке које су недовољно испитане.

Узроци овог кретања јесу: несиметричан распоред маса у Земљиној кори, као и померања водених и ваздушних маса на њеној површини.

Из овога се види да астрономска посматрања и проучавања имају не само велики научни већ и практични значај, о чему ће се доцније говорити.



Сл. 34. Путања Земљиног пола по Земљиној површини (полходија)

3.15. Примена астрономије у прекоморској и ваздушној пловидби. — Прекоокеански бродови плове по најкраћој, унапред уцртаној кривој на Меркаторовој светској карти. Да би брод пловио по овој кривој, мора се на њему довољно често одређивати његов положај, тј. његове географске координате, и затим исправљати курс да би се брод стално држао утврђене линије курса пловидбе.

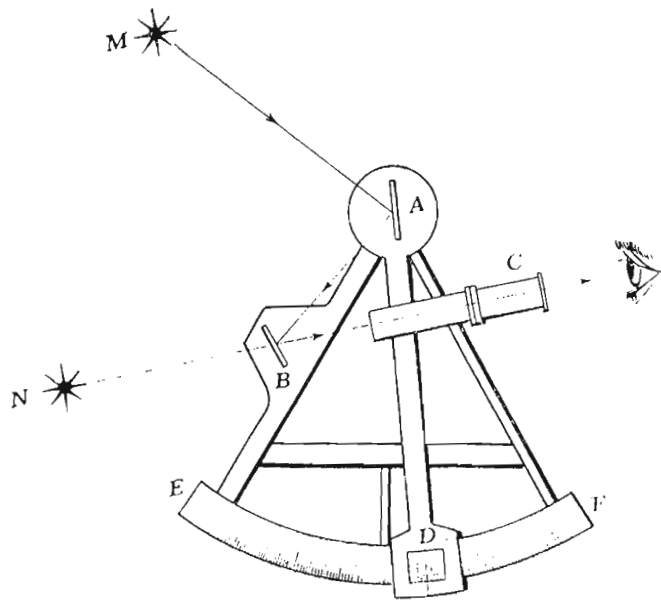
Географске координате се на броду одређују из мерених висина Сунца или звезда малим инструментом — *секстантом* (сл. 35), који је изумео још Њутн. Овако одређени положај брода уцртава се у карту и одмах исправља курс брода да би се довео на раније утврђени.

На сличан начин се одређује, уз помоћ специјалног секстанта и таблица или рачунара, и положај авиона на далеким летовима. Ако откажу техничка средства за оријентацију, ова метода је једино сигурна да авион стигне на циљ.

Сличним методама користе се и експедиције у далеке и неиспитане пределе, којих је последњих година све више на Антарктику који човеку обећава неизмерне материјалне добити.

За ове сврхе данас се користе и специјалне физичке методе, уз помоћ специјалних Земљиних вештачких сателита.

Ето још једне велике практичне примене астрономских знања.



Сл. 35. а) Секстант; б) мерење висине небеског тела секстантом

ПИТАЊА

1. Географска ширина Београда је $\varphi = +44^{\circ} 48'$. Колико је угловно растојање од зенита до северног небеског пола у Београду?
2. Најјужнији делови Југославије простиру се до 41° географске ширине. Колики угао тамо заклапа раван небеског екватора с хоризонтом?
3. Под коликим углом небески екватор сече хоризонт (у источној и западној тачки) за посматрача на географској ширини $+40^{\circ}$? А колики за посматрача на географској ширини $+10^{\circ}$, $+20^{\circ}$, $+50^{\circ}$, $+70^{\circ}$ и -40° ?
4. У која се два случаја висина небеског тела над хоризонтом не мења у току дана?
5. Какав је положај еклиптике према хоризонту за посматрача на Северном полу?
6. Колики је највећи и најмањи угао који образује еклиптика с хоризонтом у Београду ($\varphi = +44^{\circ} 48'$)?
7. Колики угао образује еклиптика с хоризонтом у тренутку залаза тачке пролећне равнодневице за посматрача на географској ширини $+18^{\circ}$?
8. Чему је једнака деклинација тачке зенита на географској ширини $+42^{\circ}$?
9. Чему су једнаке хоризонтске координате северног небеског пола у месту с географском ширином $+23^{\circ} 27'$?
10. Колике су ректасцензија и деклинација тачке пролећне равнодневице?

ЗАДАЦИ

1. Одредити ректасцензију и деклинацију северног пола еклиптике.
2. Одредити зенитну даљину Сунца кад је дужина сенке једног предмета једнака самој дужини предмета.

ГЛАВА ЧЕТВРТА

ЗЕМЉИНА КРЕТАЊА И ЊИХОВЕ ПОСЛЕДИЦЕ

4. 1. Земљино дневно обртање (ротација). — У 2. 1. упознали смо појаву привидног дневног обртања небеске сфере и рекли да је оно само последица једног другог, правог кретања — *Земљине ротације*.

Још су у старом веку неки научници, а нарочито *Аристарх са Самоса*, тврдили да Земља има обртно кретање. Недовољна убедљивост њихових доказа због непознавања физичких закона омогућила је цркви да ову истину вековима оспорава, позивајући се на Свето писмо. Овоме је много допринео и изглед саме појаве, који је потпуно исти било да се небеска сфера обрће око Земље у ретроградном смеру, било да се Земља обрће око своје поларне осовине у директном смеру.

Тек је Коперник (1543. год.) навео као један од убедљивих доказа Земљине ротације велику удаљеност звезда, која би захтевала несхватљиво велике брзине ако бисмо претпоставили да се звезде крећу око Земље, било као целина, било посебно. Кад је Галилеј 1609. год. први од свих људи уперио дурбин у звездано небо и сагледао да се све планете, као и Сунце и Месец, обрћу, постало је јасно да ни Земља, као једна од мањих планета, не може у овоме чинити изузетак.

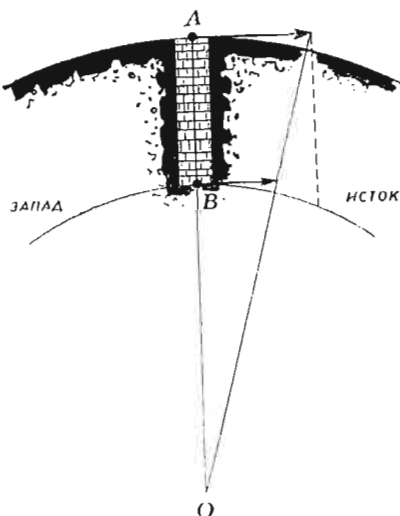
Најзад, са Њутном је постало јасно да се кретања небеских тела обављају искључиво узајамним привлачењем њихових маса (видети 8), па би у случају обртања свих небеских тела око Земље морала бити дуж Земљине обртне осовине усредсређена неизмерно велика маса под чијим би се привлачењем вршило ово кретање, што није случај.

4. 2. Докази за Земљино дневно обртање. — Данас има велики број непосредних механичких доказа Земљине ротације, као што су, на пример, скретања токова река које теку дуж Земљиних меридијана или ветрова који дувају овим правцем, затим скретање хоризонталног хица избаченог у правцу меридијана. Најезактнији докази су: скретање тела које слободно пада, привидно скретање равни клаћења клатна и гироскопа и Земљин облик.

1° *Скретање ка истоку тела које слободно пада* (Њутн — 1679). Аристотел, па и његове присталице све до новог века тврдили су,

због непознавања закона инерције, да тело које слободно пада мора скретати ка западу, јер би Земља, у случају да ротира са запада на исток, измицала ка истоку испод тела које слободно пада.

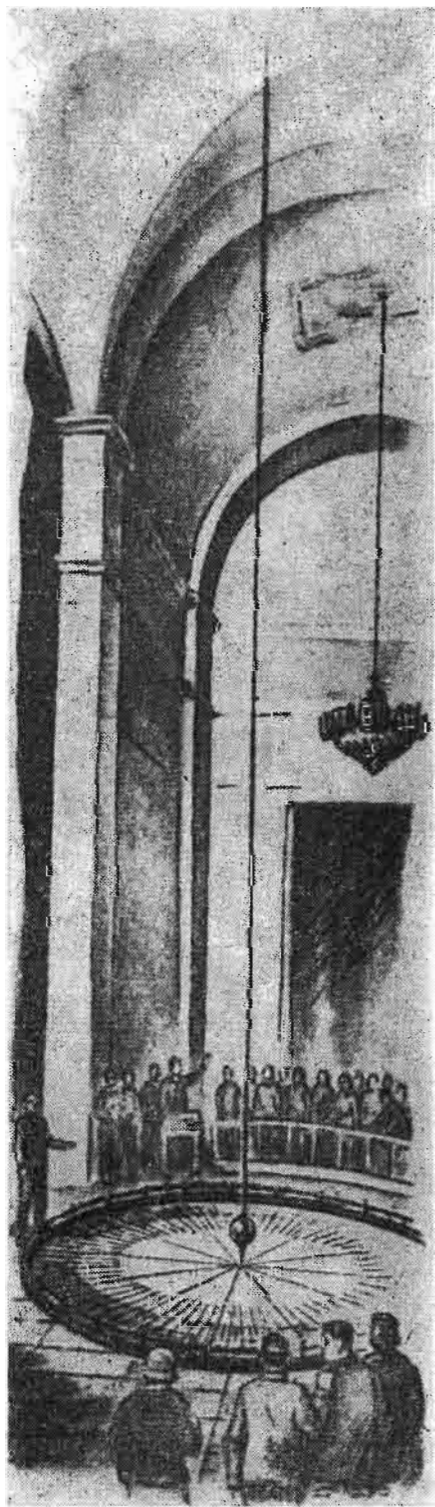
Експерименти су показали обратно — да тело које слободно пада скреће ка истоку. Појаву је предвидео још Њутн, тумачећи правилно



Сл. 26. Скретање ка истоку тела које слободно пада

да ово скретање долази отуд што тело, падајући према Земљином средишту, прелази са тачака веће ка тачкама мање периферијске брзине, па је ефекат исти као да Земља заостаје за телом, а не као да предњачи испред њега. Појаву очигледно објашњава слика 36. Ако тело пада са висине од 50 m, на географској ширини 45° скреће само 6 mm. Због малог износа скретања и знатних поремећаја био је потребан дуг низ година док се техника мерења није толико усавршила да се могу тачно измерити овако мала скретања. Измерена скретања тада су се поклопила са оним које је Њутн теоријски био предвидео.

2° Скретање равни клаћења клатна (Фуко — 1851). Из физике је познато да, по закону инерције, клатно у току клаћења задржава непромењен положај равни клаћења. Ако узмемо довољно дуго и тешко клатно које се може, једном заклаћено, дуго клатити, па поставимо шиљак на његов слободни крај и поспемо танак слој песка на подлогу, можемо запазити убрзо привидну промену положаја ове равни као

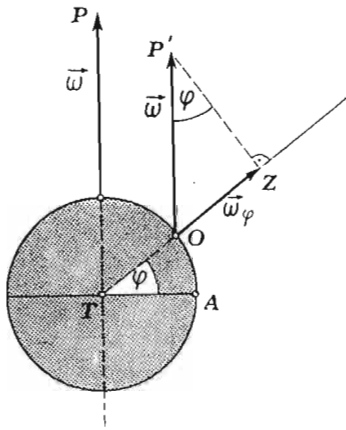


Сл. 37. Скретање равни клаћења клатна

последницу обртања подлоге (Земље) испод клатна (сл. 37). Скретање равни клаћења клатна на Земљиним полу износи 360° за један звездани дан или 15° на час, а на тачки са географском ширином φ , што очигледно следи са сл. 38:

$$\alpha = \omega \cdot \sin \varphi = 15^\circ \cdot \sin \varphi \text{ на час,}$$

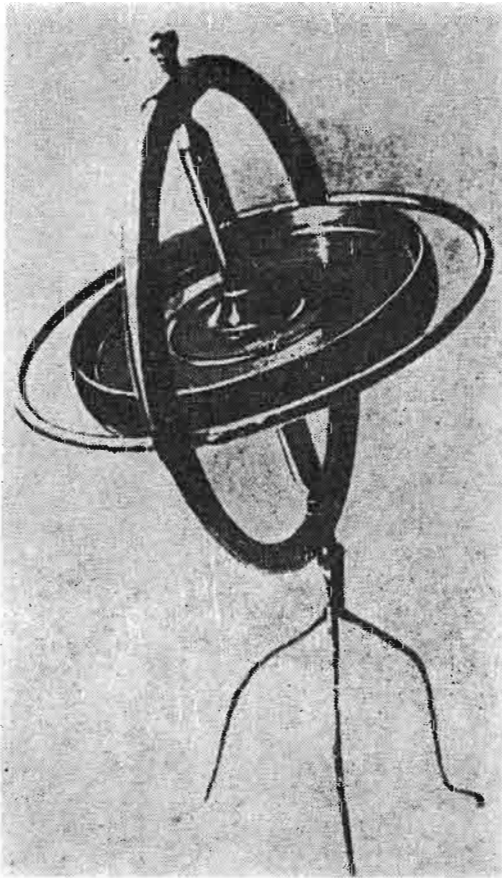
где је ω угаона брзина Земљиног обртања.



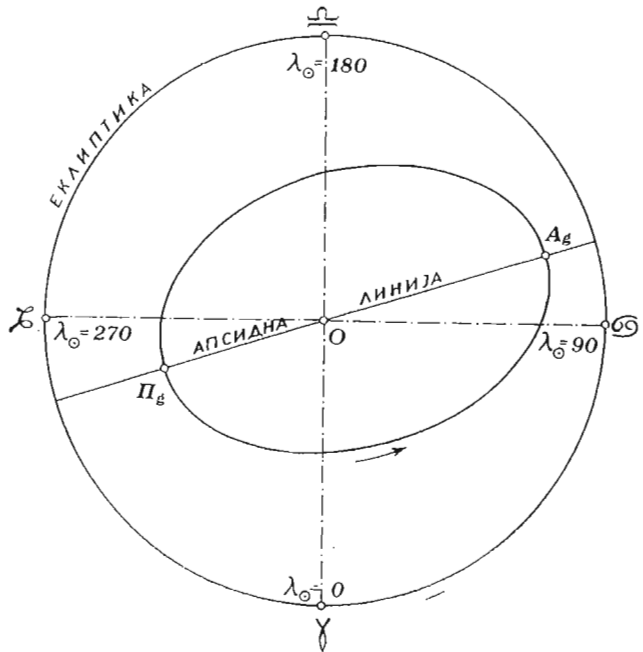
Сл. 38. Скретање равни клаћења клатна на географској ширини φ

Фуко је први извео овај експеримент у париском Пантеону, а затим је на много места поновљен и њиме Земљина ротација доказана на очигледан и егзактан начин.

3^о Експеримент са гироскопом (Фуко и Персон — 1852). Већ следеће године конструисан је гироскоп, који је касније прерастао у гироскопски компас, данас веома цењен у прекоморској пловидби. У првобитном облику гироскоп се састоји из тачка, чврсто везаног за осовину, која лежи са што мање трења у карданском зглобу (сл. 39). Кад се тачак заврти, рецимо на тај начин што се на њ намота дужи канап, па се овај нагло повуче, правац осовине остаје по закону инерције непромењен. Ако се осовина довољно дуго врти, може се запазити како подлога, тј. сама Земља, ротира у односу на ову осовину.



Сл. 39. Гироскоп



Сл. 40. Привидна Сунчева годишња путања у равни еклиптике с положајем апсидне линије према линији солстиција

4° *Земљин облик*. Експерименти су показали да еластична лопта која ротира око једног пречника на центрифугалној машини добија све спљоштенији облик што је брзина обртања већа. Њутн је још по открићу закона гравитације (8. 5) теоријски предвидео да Земља због своје ротације мора бити на половима спљоштена, а на екватору испупчена (6. 1). Каснија геодетска мерења (8. 6) потврдила су ово, па је тако и Земљин облик данас један од многих доказа за Земљино обртно кретање.

4.3. Земљино годишње обилажење око Сунца (револуција)¹⁸.
Тропска година. — Сазнали смо из претходног излагања да је дневно обртање небеске сфере са свим небеским телима око Земље само привидно и последица правог Земљиног обртања око поларне осовине. Показаћемо да је и годишње обилажење Сунца око Земље само привидно и последица правог Земљиног обилажења око Сунца.

1° *Облик привидне Сунчеве годишње путање око Земље*. Сазнали смо у 3.10. да је еклиптика само пројекција Сунчеве привидне годишње путање око Земље на залеђе небеске сфере, а у 3.9. како се посматрањем може одредити положај еклиптичке равни и саме еклиптике. Покажимо сада како се посматрањем (мерењем) може, даље, одредити и сам облик Сунчеве привидне годишње путање и начин његовог кретања по путањи.

Облик Сунчеве привидне годишње путање може се одредити ако се свакодневно мери Сунчев *угловни*, или *привидни пречник* R_{\odot} и из мерених екваторских координата израчуна његова *небеска лонгитуда* λ_{\odot} . Како је привидни пречник обрнуто сразмеран Сунчевој даљини од *Земљиног средишта*, тзв. *геоцентричној даљини* Δ , то се из његових мерења могу извести у извесној размери вредности Сунчевих геоцентричних даљина.

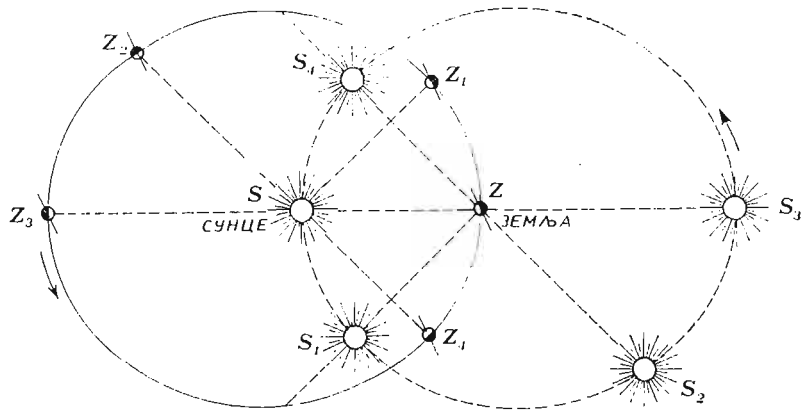
Ако са свакодневним вредностима Сунчеве лонгитуде и релативне геоцентричне даљине као поларним координатама, с почетком у Земљином средишту, конструишемо Сунчеву привидну годишњу путању (сл. 40), може се геометријски доказати да је она *елипса* у чијој је *једној жижи* Земља. Тачка на овој путањи најближа Земљи назива се *перигеум*¹⁹, а најдаља од ње *апогеум*²⁰. Око 3. јануара Сунце је у перигеуму, а око 4. јуна у апогеуму. Ексцентричност ове елипсе је веома мала: $e = 0,0168$.

2° *Начин Сунчевог кретања по привидној годишњој путањи*. Ако начинимо узастопне разлике свакодневних Сунчевих небеских лонгитуда $\Delta \lambda_{\odot}$, имамо и дневне промене његових лонгитуда. Тако можемо видети да је дневна промена $\Delta \lambda_{\odot}$ Сунчеве небеске лонгитуде у перигеуму највећа (око 61'), као и његов привидни пречник (око 32' 36"). У апогеуму је дневна промена његове небеске лонгитуде најмања (око 57'), као и његов привидни пречник (31' 32"). Значи, Сунце се привидно најбрже креће по својој путањи кад је најближе Земљи, а најспорије кад је најдаље од ње. Ова се брзина непрекидно повећава од A_g до P_g и смањује од P_g до A_g .

¹⁸ Од латинске речи *volvere* = котрљати.

¹⁹ Од грчке речи *пери* = од и *Геа* = Земља.

²⁰ Од грчке речи *ано* = од и *Геа* = Земља.



Сл. 41. Истоветност појаве било да се посматра Сунчево привидно кретање око Земље или Земљино право кретање око Сунца
(Објасни слику!)

Одсечак праве који спаја перигеум с апогеумом је велика осовина елипсе и назива се *апсидна линија*²¹. Она се не поклапа с правом која спаја тачке солстиција на путањи, већ са њом заклапа угао од око 11° (сл. 40).

3° Истоветност појаве било да се посматра Сунчево привидно кретање око Земље било право Земљино годишње кретање око Сунца. Замислимо сада да је Сунце непокретно и да се Земља креће око њега у истом смеру у равни еклиптике. Са разних Земљиних положаја на њеној путањи видећемо Сунце како се пројектује на залеђе небеске сфере у разне тачке зодијачког појаса. Сунце ће се тада привидно кретати у директном смеру по позадини неба описујући еклиптику (сл. 41).

Привидно Сунчево кретање по еклиптици са запада на исток може се, дакле, свести на право Земљино кретање у истом смеру по елиптичној путањи око Сунца, које је у једној њеној жижи. Неравномерност Сунчевог годишњег кретања долази у ствари од неравномерности правог Земљиног кретања око Сунца, чији ће узрок касније бити објашњен (8. 4, 8. 5). Није тешко ни геометријски показати да облик и димензије путање, као и смер и брзина кретања и изглед појава, остају исти било да сматрамо Земљу за непомичну, а Сунце да се око ње креће или обратно. Зато је човек дуго векова био у недоумици које је од ова два кретања право, а које привидно.

Међутим, видећемо у следећем одељку доказе да је Земљино годишње кретање око Сунца право, а Сунчево годишње кретање око Земље само привидно и последица овог Земљиног кретања.

Замена улога Сунца и Земље повлачи и промене у називима њихових узајамних положаја. Тачка на Земљиној путањи око Сунца у којој је Земља најближа Сунцу назива се *перихел*²², а тачка у којој је Земља најдаља од Сунца *афел*²³. Апсидна линија задржава исти положај.

²¹ Од грчке речи апсис = свод.

²² Од грчких речи пери = близу и хелиос = Сунце.

²³ Од грчких речи апо = од и хелиос = Сунце.

4° *Тропска година*. Земљино годишње обилажење по елиптичној путањи око Сунца назива се Земљина револуција, јер се у исто време Земља обрће око своје поларне осовине, па ова два њена сложена кретања јесу једна врста котрљања по путањи. Временски размак који Земља употреби да опише своју путању полазећи од γ тачке и враћајући се у γ тачку назива се *тропска (природна) година*. Из великог броја мерења изведена је њена дужина. Она износи 366,2422... звезданих дана, или 365,2422... средњих сунчаних дана. Дефиниција средњег сунчаног дана биће дата нешто касније, у глави 5.

4.4. Докази за Земљино годишње обилажење око Сунца. — Упркос упорним геоцентричарима већ је александријски астроном *Аристарх* у III веку пре наше ере тврдио да Земља обилази око Сунца, јер је мерењем био доказао да је Сунце неупоредиво веће од Земље. Пољски астроном *Коперник* је у XVI веку овоме додао још низ посредних доказа. Најјачи је био да сложене привидне путање планета одједном постају веома просте ако претпоставимо да се Земља и све оне крећу око Сунца. А кад је *Њутн* у XVII веку доказао да се сва кретања у васиони обављају под утицајем међусобног гравитационог привлачења маса небеских тела, постало је јасно да Сунце, својом неупоредиво већом масом, нагони све планете, па и Земљу, да обилазе око њега. Касније су, међутим, нађени и непосредни докази да се Земља креће око Сунца. Ми ћемо навести три најпростија и најубедљивија; то су: аберација светлости, паралакса звезда и периодично годишње померање линија у спектрима небеских тела.

1° *Аберација*²⁴ *светлости*. Ову појаву открио је 1725. године енглески астроном *Бредли*. Састоји се у томе да звезду не видимо на њеном *правом положају*, већ на тзв. *привидном положају*, који је од правог удаљен за веома мали угао. Овај угао за разне положаје на небеској сфери варира од 0'' до 20'', 5. Узрок овог скретања (аберације) светлосног зрака који долази од звезде је у томе што се Земља креће, па се брзина њеног кретања слаже у резултанту са брзином кретања светлости која долази од звезде, што ближе објашњава сл. 42.

Нека је σ прави положај звезде, а O_o положај астрономског дурбина. Када би Земља била непомицна или се кретала у правцу светлосног зрака који долази са звезде, он би погађао објектив у тачки O и доспевао у око у тачки o . Међутим, *Земља се креће у правцу неке тачке A на небеској сфери која се назива апекс Земљиног кретања, и њена брзина није занемарљиво мала према брзини светлости*. Зато ће се, док светлост креће пут $O_o = ct$ (где је c брзина светлости) тачка O заједно са дурбином и Земљом померити за неки износ $OO' = vt$ (где је v брзина Земље), а у место o , где се образује лик звезде, доћи нека суседна тачка. Звездин лик неће се образовати у средишту окулара o' , већ мало изван њега у тачки o . Биће потребно да нагнемо дурбин за тзв. *аберацијски угао a из правог у привидни правац, $O'o$* , па да лик звезде дође поново у средиште окулара.

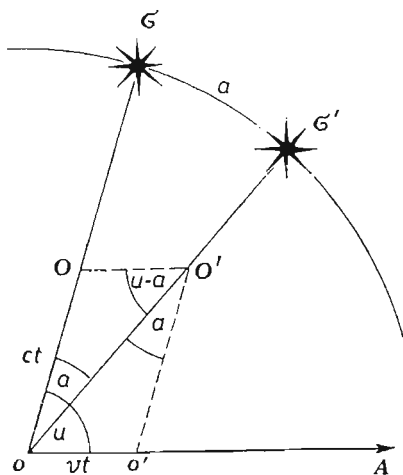
Из $\Delta OoO'$, по синусној теореме, је:

$$\sin \alpha = \frac{v}{c} \sin (u-a),$$

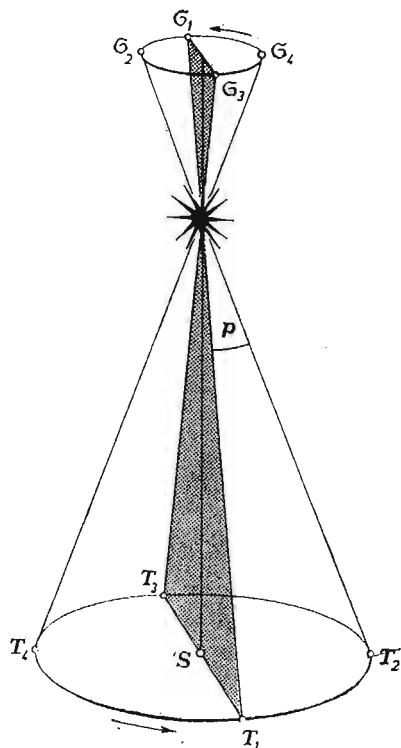
или, због мајушности угла a , довољно приближно

$$\alpha = \frac{v}{c} \sin 1'' \cdot \sin u = k \sin u.$$

²⁴ Од латинске речи *aberratio* = скретање, одступање.



Сл. 42. Појава аберације светлости



Сл. 43. Паралакса звезда

Израз $k = 20'',5$ назива се константа аберације, а израз $(a = k \sin u)$ математички представља закон аберације: Привидни положај звезде померен је услед аберације светлости од правог положаја дуж лука великог круга ка апексу Земљиног кретања за угао који је једнак производу константе аберације и синуса угла који прави правац ка звезди заклапа са правцем Земљиног кретања.

Ако се израчунају сви привидни положаји једне звезде на небеској сфери у току године, може се доказати да она привидно описује једну малу елипсу чија је велика полуоса $20'',5$, а мала полуоса утолико мања уколико је звезда ближа еклиптици. Ова аберацијска елипса је пресликана Земљина путања око Сунца на небеску сферу и први егзактни доказ да она постоји и да се Земља креће око Сунца, тј. егзактни доказ основних ставова Коперниковог система.

2° *Паралакса²⁵ звезда.* Ову појаву открио је немачки астроном Бесел — 1838. год. Састоји се у томе да свака звезда, услед Земљиног обилажења око Сунца, у току године привидно опише по небеској сфери једну малу елипсу, тзв. *паралактичку елипсу* звезде. Уколико је звезда даља, утолико је ова елипса мања и за веома удаљене своди се на тачку, па се не може ни видети, ни непосредно измерити астрономским дурбином. И за најближе звезде велика полуоса ове елипсе је мања од $1''$. Елипса је утолико спљоштенија уколико је звезда ближа еклиптици. Појаву ближе објашњава сл. 43. Ако је $T_1 T_2 T_3 T_4$ Земљина путања око Сунца, посматрач из T_1 звезду σ пројцира на небеску сферу у положај σ_1 , из T_2 у σ_2 , из T_3 у σ_3 и из T_4 у σ_4 , тако да звезда привидно опише путању $\sigma_1 \sigma_2 \sigma_3 \sigma_4$ зато што посматрач није непомичан већ се заједно са Земљом креће око Сунца. Ово је други егзактни доказ за Земљино кретање око Сунца.

3° *Периодично годишње померање линија у спектрима небеских тела.* Из физике знамо да помоћу спектрографа можемо добити спектар сваког светлосног извора. Ако су спектралне линије у овом спектру померене ка љубичастом делу, размак између светлосног извора и посматрача се смањује, а ако су померене ка црвеном делу, размак се повећава. Појава се назива *Доплеров ефекат*. Ако је померање спектралне линије $\Delta\lambda$, њена таласна дужина λ , брзина кретања у правцу непомичног светлосног извора v , а c брзина светлости, онда је:

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

Ако измеримо $\Delta\lambda$ за одређено λ , пошто знамо c , можемо израчунати брзину v . Можемо да запазимо, посматрајући спектре звезда на еклиптици, да се у сваком тренутку у години приближујемо по једној звезди, а истом брзином удаљујемо од оне која на еклиптици лежи са супротне стране. Ова се брзина мења у току године од 29,3 до 30,3 km/sec и износи просечно око 30 km/sec. На овај начин можемо пратити целе године промену смера брзине Земљиног кретања око Сунца. Ово је трећи непосредни доказ да се Земља креће око Сунца.

4. 5. Последице два основна Земљина кретања. — Видели смо да Земља врши два основна кретања: равномерно обртно кретање (ротацију) око сопствене осе у директном смеру и неравномерно транс- латорно кретање по елипси (револуцију) око Сунца, опет у директном смеру. Најважније последице ова два кретања веома значајне за човеков живот на Земљи су: неједнаке дужине обданица и ноћи, подела Земље на топлотне појасе, подела године на годишња доба и неједнаке дужине годишњих доба.

1° *Неједнаке дужине обданица и ноћи.* Трајање једног Земљиног обрта — дан дели се на *обданицу*, или време које Сунце проведе изнад хоризонта, и *ноћ*, или време које Сунце проведе испод хоризонта. Према томе, дужина обданице одговара (сл. 20) дужини лука Сунчевог привидног пута изнад хоризонта, а дужина ноћи одговара дужини лука тога пута испод хоризонта. Одатле се јасно види да се на средњим географским ширинама, на којима се налази наша Земља (сл. 27b), дужине обданица и ноћи мењају у току године, и то на овај начин: 21. марта обданица је једнака ноћи (*пролећна равнодневица*). После тога обданица је све дужа од ноћи; 22. јуна је обданица најдужа у години, а ноћ најкраћа (*летња дугодневица*). Затим дужина обданице опада, а дужина ноћи расте, тако да 23. септембра обданица опет постане једнака ноћи (*јесења равнодневица*). Потом обданица још више опада, а ноћ расте по дужини, тако да 22. децембра обданица постане најкраћа у години, а ноћ најдужа (*зимска краткодневица*). После тога обданица почиње расти, а ноћ опадати по трајању све до 21. марта следеће године када се опет изједначе по дужини.

Са сл. 27a види се да на Северном полу обданица траје 6 месеци, од 21. марта до 23. септембра, а за то време је на Јужном полу ноћ. Од 23. септембра до 21. марта управо је обратно, на Северном полу ноћ, а на Јужном обданица.

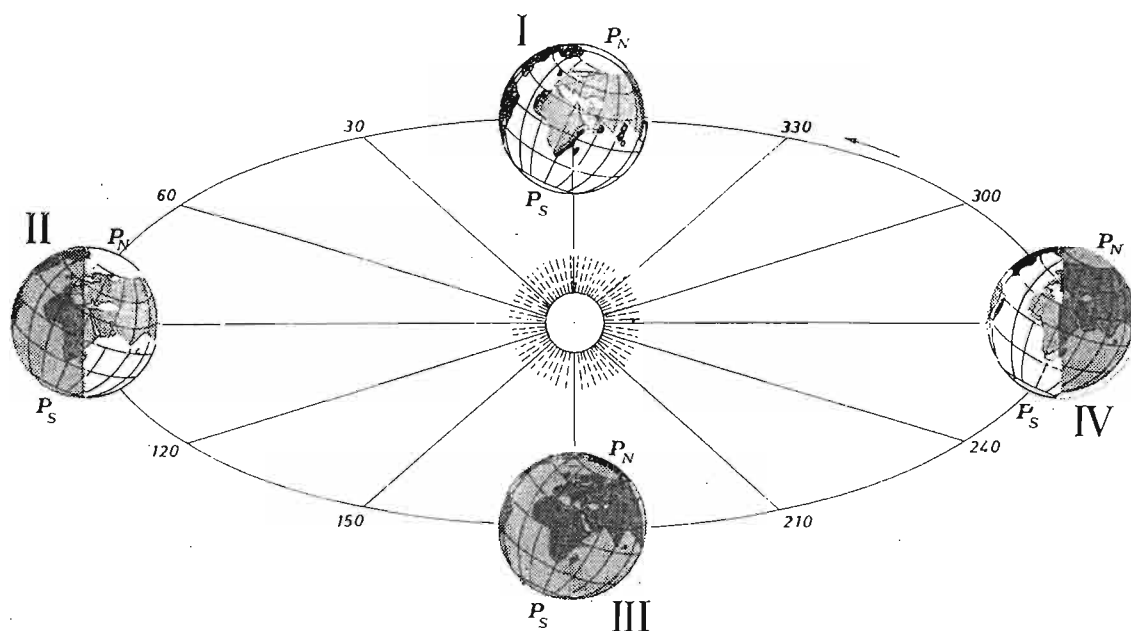
Са сл. 27c види се да су на Земљиним екватору целе године обданица и ноћ једнаке. Између последња два крајња случаја постоји и дуги низ поступних прелаза почев од места са најнижим до места са највишим географским ширинама. (Цртај и дискутуј разне случаје!).

2° *Подела Земље на топлотне појасе.* Стална количина топлоте коју Земља прима од Сунца различито се распоређује на Земљиној површини, због разлике у Сунчевим даљинама од Земље у току године, због различите висине Сунца према хоризонтима разних места, због различите дужине пута који преваљују Сунчеви зраци до разних места на Земљиној површини и због различите дужине дана у току године.

Тако Земља у перихелу (зими) прима за око 10% више топлоте но у афелу (лети). Ова разлика је безначајна према оним разликама које долазе од осталих узрока, а који сви делују у супротном смеру.

Количина топлоте коју прима јединица површине утолико је већа уколико је већа висина Сунца над хоризонтом и највећа је кад је Сунце у зениту. Међутим, што је Сунце више над хоризонтом, краћи је пут који прелазе његови зраци кроз Земљину атмосферу. Тако, нпр., кад је Сунце на 20° висине, атмосфера задржава скоро половину његове топлотне енергије, кад је на 40° висине — само трећину. Исто тако, и са дужином дана расте количина примљене топлоте.

Земљу делимо на пет топлотних појаса са изразито различитим топлотним режимима (климом). Између повратника (од $-23^\circ,5$ до $+23^\circ,5$ географске ширине) протеже се *жарки појас*, јер у ту зону преко целе године зраци падају под великим углом. Северни и јужни *умерени појас* (од $23^\circ,5$ до $66^\circ,5$ сев. и јуж. географске ширине) имају умерену климу, док северни и јужни *ледени појас* (од $66^\circ,5$ географске ширине до Северног, одн. од $-66^\circ,55$ ширине до Јужног пола) имају целе године сурову климу, јер у њих Сунчеви зраци, и кад стигну, увек стижу под малим углом. Овај нагиб Сунчевих зракова према тлу у разним топлотним појасима у току године приказује сл. 44.



Сл. 44. Нагиб Сунчевих зракова према тлу у разним топлотним појасима на Земљи и у разна годишња доба

3° *Подела године на годишња доба.* Са сл. 44 види се да је у разна годишња доба различит нагиб под којим Сунчеви зраци падају на Земљине умерене појасе, па је различит и топлотни режим на Земљи. На сл. 44 приказане су еквиноцијске (I и III) и солстицијске тачке (II и IV) на Земљиној годишњој путањи око Сунца. Временски размаци који протекну између Земљиног пролаза кроз две узастопне од ових тачака називају се годишња доба: *пролеће* (од 21. марта до 22. јуна), *лето* (од 22. јуна до 23. септембра), *јесен* (од 23. септембра до 22. децембра) и *зима* (од 22. децембра до 21. марта).

На ледене појасе, и кад падају, Сунчеви зраци падају само веома косо, па је тамо вечита зима, иако и тамо има мањих разлика у температури између оне половине године кад је тамо поларни дан и друге половине кад је поларна ноћ. Зато се у релативном смислу може говорити и о поларном лету и поларној зими.

На жарки појас Сунчеви зраци увек падају врло стрмо, па је тамо вечито лето.

4° *Неједнаке дужине годишњих доба.* Због ексцентричности Сунчеве привидне годишње путање, непоклапања апсидне линије са линијом која спаја тачке солстиција и неравномерности његовог кретања по путањи (сл. 40) настаје *неједнакост годишњих доба*. На северној Земљиној хемисфери пролеће траје 92,8 дана, лето 93,6, јесен 89,8 и зима 89,0 дана. Према томе, Сунце проведе у току године на северној полусфери 7,6 дана више него на јужној. (Покажи на сл. 40. луке који одговарају годишњим добима!).

ПИТАЊА

1. Које Земљино кретање изазива привидно дневно обртање небеске сфере?
2. Које су доказе за Земљину ротацију наводили Коперник и Њутн?
3. Који су механички докази Земљине ротације?
4. Које Земљино кретање изазива привидно годишње кретање Сунца?
5. Како се из посматрања (мерења) може одредити облик Сунчеве привидне годишње путање и начин његовог кретања по њој?
6. Шта је тропска година?
7. Који су егзактни докази Земљиног обилажења око Сунца?
У чему се они састоје?
8. Које су последице два основна Земљина кретања?

ЗАДАЦИ

1. Израчунај за које ће време подлога испод Фукоовог клатна описати пун угао на географским ширинама 30°, 45°, 60°?
2. Израчунај разлику у дужини између велике и мале полуосе Земљине путање из познате ексцентричности путање и познате Земљине средње даљине од Сунца.

ПОСМАТРАЊЕ

1. Покушај да направиш најпростији гироскоп, да га пустиш у кретање и докажеш Земљину ротацију.

ГЛАВА ПЕТА

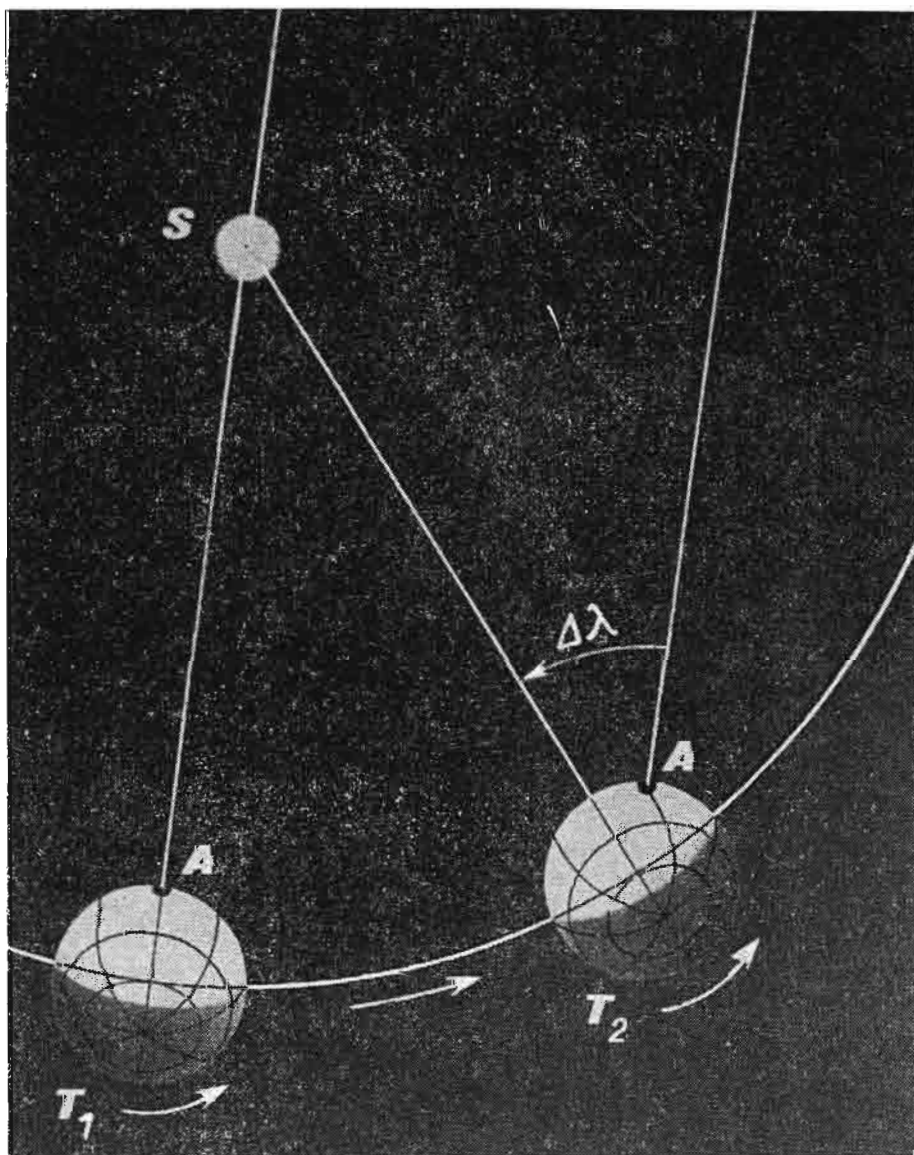
МЕРЕЊЕ И РАЧУНАЊЕ ВРЕМЕНА

5. 1. Право, средње и грађанско време. Временско изједначење. — У 2. 1. дефинисали смо основну јединицу за мерење времена — *звездани дан*. Он се строго дефинише као *временски размак између два узастопна истоимена пролаза γ тачке кроз меридијан, а звездано време мери се часовним углом γ тачке*. Због равномерног Земљиног обртања, у звезданом дану је нађена временска јединица која задовољава основни услов сваке јединице за мерење — *непроменљивост*.

1° *Право сунчано време, или право време*. Како се горња кулминација γ тачке, тј. почетак звезданог дана, не догађа увек у истом тренутку према горњој кулминацији Сунца, већ се у току године помера према њој, то звездани дан није подесан за практичне потребе, јер се природне појаве и догађаји свакодневног живота, који се понављају из дана у дан у исте тренутке према Сунцу (висини Сунца), догађају сваки дан у другим тренуцима звезданог времена. Зато је за астрономска посматрања Сунца и за потребе свакодневног живота још од давнина била усвојена друга јединица за мерење времена која се дефинише аналого звезданом дану. То је *прави сунчани дан*, или *временски размак између две узастопне горње кулминације средишта Сунчевог привидног котура*. Часовним углом сунца t_{γ} мери се *право сунчано време*, или, кратко, *право време*. Почетак правог сунчаног дана пада у тренутак Сунчевог горњег пролаза кроз меридијан и назива се *право подне*. Тренутак његовог доњег пролаза кроз меридијан назива се *права поноћ*. Ово се време може лако израчунати из мерења Сунчеве висине. Она је у старом веку мерена *гномомом* — вертикалним стубом који баца сенку на равну подлогу, а од III века пре наше ере појавио се у Риму *сунчани часовник* који се употребљавао све до новог века, јер је тачност његовог показивања била довољна за тадашње стање производних снага и друштвених односа.

2° *Средње сунчано време, или средње време*. Прави сунчани дан није се могао одржати као јединица за мерење времена, јер не задовољава поменути основни услов — његова се дужина мења у току године. И доиста, ако на сл. 45 замислимо Земљу T_1 на њеној путањи T_1T_2 око Сунца S и претпоставимо да се у њеном положају T_1 нашла једновремено у меридијану T_1M са Сунцем S и нека звезда, онда ће се, по истеку једног звезданог дана, или једног Земљиног обрта, Земља

померити на својој путањи из T_1 у T_2 и звезда ће, као практично бескрајно удаљена тачка, опет проћи кроз исти меридијан. Но Земљи ће бити потребно да се обрне још за један мали угао $\Delta \lambda$ па да се Сунце S поново нађе у меридијану места M . Одавде се види да је *прави сунчани дан* због Земљиног кретања око Сунца увек *дужи* од *звезданог*.



Сл. 45. Разлика у трајању правог и звезданог дана

Угао $\Delta \lambda$ није ништа друго до дневни прираштај Сунчеве лонгитуде. Ми, међутим, знамо да се Земља не креће једнаком брзином око Сунца, па се зато прираштаји $\Delta \lambda$ из дана у дан мењају. Но кад би они и били међу собом једнаки (стални), не би биле једнаке њихове пројекције на раван екватора или прираштаји Δt часовног угла којим се мери време, због тога што је раван еклиптике нагнута према равни небеског екватора ($\epsilon = 23^\circ,5$).

Да би мера за време остала везана за Сунце, према чијем се кретању управља целокупна човекова делатност, а да би се отклонио

први поменути недостатак који онемогућује његову употребу за мерење времена, уведена је једна фиктивна тачка названа *средње еклиптичко сунце*, која се креће равномерно по еклиптици, а пролази кроз перигеј и апогеј заједно са правим Сунцем. Лонгитуда његова λ_m једнака је средњој лонгитуди правог Сунца. Разлика између средње и праве лонгитуде Сунца, тзв. *изједначење центра*, креће се у току године у границама од $\pm 7^m,7$.

Но, средње еклиптичко сунце још увек има други наведени недостатак правог Сунца за мерење времена. Да би се он отклонио, уведен је појам *средњег екваторског сунца*, или, кратко, *средњег сунца*, као тачке која се равномерно креће по екватору, а пролази кроз тачке пролећне и јесење равнодневице заједно са средњим еклиптичким сунцем. Разлика између лонгитуде и ректасцензије правог Сунца, тзв. *свођење на екватор*, од кога и долази ова друга неједнакост, варира у току године у границама од $\pm 9^m,9$.

Јединица за време, дефинисана употребом средњег Сунца по аналогiji на прави дан, биће очигледно стална. То је *средњи сунчани дан*, или, кратко, *средњи дан*, тј. временски размак између две узастопне горње кулминације средњег сунца. У првом приближењу он је једнак средњој вредности правих сунчаних дана у тропској години. *Средње време мери се часовним углом t_s средњег сунца*. Почетак средњег дана пада у тренутак горњег пролаза средњег сунца кроз меридијан и назива се *средње подне*. Тренутак његовог доњег пролаза кроз меридијан назива се *средња поноћ*.

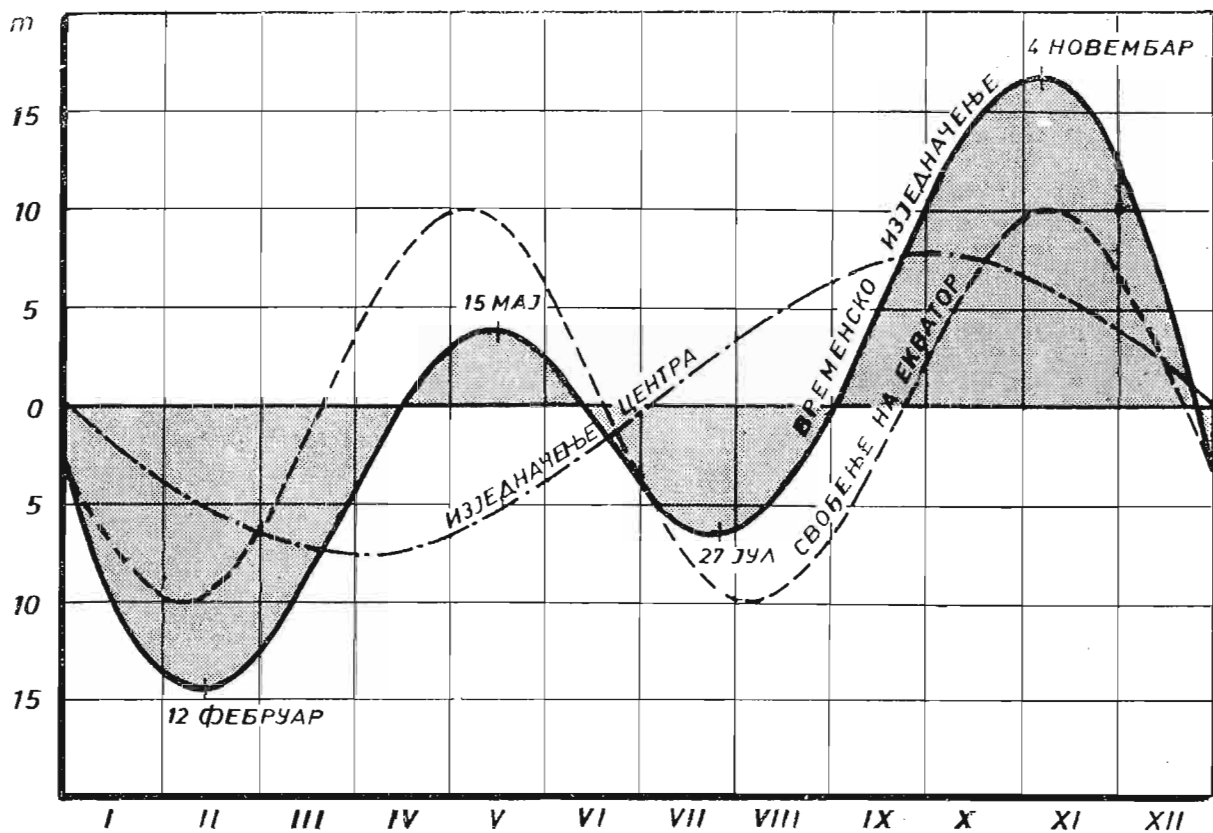
3° *Веза између правог и средњег времена. Временско изједначење*. Збир изједначења центра и свођења на екватор назива се *временско изједначење η* и представља разлику између правог и средњег времена у сваком тренутку:

$$\eta = t_p - t_s.$$

Оно се добија рачунски и даје за сваки датум у поноћ у астрономским годишњацима, одакле се интерполовањем може наћи за сваки тренутак. Кад је из посматрања познато право време t_p , а из таблица се извади временско изједначење η , горња реализација омогућује да се лако пређе са правог на средње време. Она служи и за обратан прелаз. Крива временског изједначења η у току године приказана је на сл. 46. Са ње се види да се временско изједначење креће у току године у границама од $+ 16^m,4$ до $- 14^m,4$, да достиже два максимума и два минимума:

око 12. фебруара	$-4^m,4$
око 15. маја	$+3,8$
око 27. јула	$-6,4$
око 4. новембра	$+16,4$

и да је четири пута у години једнако нули: око 15. априла, 14. јуна, 1. септембра и 25. децембра.



Сл. 46. Криве временског изједначања и његових компонената.

4° *Грађанско време*. Иако идеална мера за време, због своје сталности, средњи сунчани дан је због свог почетка у средње подне уносио незгоде у свакодневни живот, јер је прва половина дана припадала једном, а друга другом датуму. Да би се ово избегло, прешло се на рачунање почетка средњег дана од средње поноћи и тако се дошло до појма *грађанског времена* (t_g), које није ништа друго до средње време од претходне средње поноћи:

$$t_g = t_s + 12^h.$$

Женева уводи у јавну употребу грађанско време 1780. године, а почетком XIX века поступно и све европске земље.

5.2. Месно време. Датумска граница. Зонско и указно време. — Да би се дошло до времена које се употребљава у грађанском животу, мора се учинити још један корак.

1° *Месно време*. Почети свих досад дефинисаних временских јединица налазе се у меридијану једног уоченог места. Зато се каже да су, како звездано, тако и право, средње и грађанско време *месна времена*. Међутим, већ је из њихових дефиниција јасно да сва места на једном истом меридијану имају у једном тренутку иста звездана, односно иста права, иста средња и иста грађанска времена. Са сл. 33 се јасно види да се звездана времена два разна места на Земљи у истом

тренутку разликују за разлику географских дужина та два места. Ако је s_M месно звездано време неког места M , а s_G гриничко звездано време, онда је:

$$s_M - s_G = L_G - L_M.$$

Како је $L_G = 0$, то је:

$$s_M = s_G - L_M,$$

где је L_M географска дужина места M у односу на Гринички меридијан, негативна ако је место источно, а позитивна ако је место западно од њега. Исти односи важе и за ма коју другу врсту месних времена.

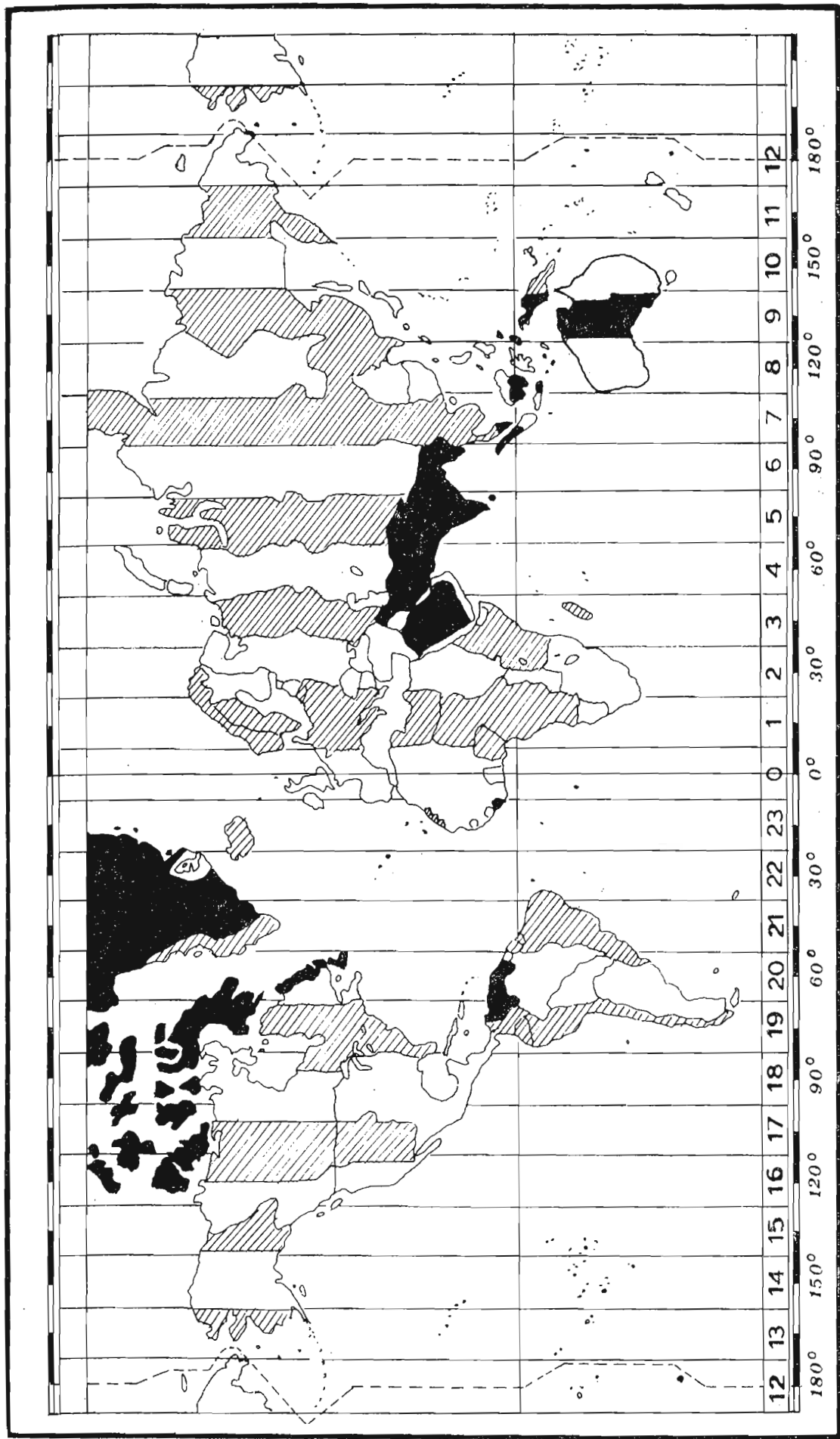
2° *Датумска граница.* Из датих израза се види да у једном истом тренутку једно место има утолико мање месно време уколико је западније од почетног меридијана, а утолико веће месно време уколико је источније од њега. У местима на меридијану супротном од гриничког, тј. са географском дужином 180° , биће онда у једном истом тренутку месно време и 12^h веће и 12^h мање од гриничког, према томе да ли смо на овај меридијан стигли идући источно или западно од почетног меридијана. Да би се ова тешкоћа избегла, међународним договором је утврђена у близини тог меридијана једна линија која иде морима и океанима (сл. 47) и која је названа *датумска граница*. Морепловци који је прелазе путујући са запада на исток броје у својим дневницима *двапут један исти датум* и седмични дан, а они који је прелазе путујући са истока на запад *изостављају по један датум* и седмични дан.

Узрок појаве је у томе што путник кога Земља носи при својој обртању још и сам обилази око ње, па ако је обиђе са запада на исток, у смеру у коме се и она сама обрће, онда је начинио један обрт више од ње и за њега ће Сунце изићи једанпут више но за непокретног Земљиног становника. При путовању на запад он се креће супротно од Земљиног обртања, па при обиласку Земље начини један обрт мање но она сама, па ће за њега Сунце изићи једанпут мање но за непокретног Земљиног становника.

3° *Зонско време.* Управљање по грађанском времену, које је за свако место које се налази на другом меридијану у једном истом тренутку различито, почело је, наглим развојем производње и размене у XIX веку, да изазива неочекивано велике сметње у саобраћају, средствима за везу и другим међународним односима. Ова је тешкоћа једно време савладавана на тај начин што су се поједине земље на целој својој територији управљале по месном времену престонице. Но са још већим развојем међународних привредних и економских веза ово уопштавање времена није било довољно. Сједињене Америчке Државе, као јака индустријска земља, а знатно распрострањена по географској дужини, прве су осетиле ове тешкоће, па је на њихов предлог, међународним споразумом, усвојен 1884. године систем *зонског времена*. Читава Земља је подељена меридијанима на 24 „кришке“, тзв. *часовне зоне* (сл. 47), а сва места у једној зони управљају се по грађанском времену средњег меридијана у зони. За почетну, тзв. *нулту зону* усвојена је она која се по географској дужини протеже $7^\circ,5$ или 30^m источно и западно од Гриничког меридијана. Она се назива и *западноевропска зона*, јер јој припадају све западноевропске земље, а сва места у њој управљају се по гриничком грађанском времену. Оно се назива и *светско време* и обележава са t_0 . Према већ реченом, веза између грађанског времена t_g ма ког места на Земљи и светског времена t_0 је:

$$t_0 = t_g + L,$$

где је L географска дужина тога места.



Сл. 47. Часовне зоне и датумска граница (испрекидана линија)

Источно од западноевропске налази се прва, или средњоевропска часовна зона, којој припада и Југославија. Сва места у њој управљају се по грађанском времену средњоевропског меридијана, чија је географска дужина 15° или 1^h . Овај меридијан пролази близу Дравограда и Задра. Идући даље на исток налази се *источноевропска зона*, којој припадају источноевропске земље (Румунија, Бугарска и западни крајеви европског дела СССР). Остале часовне зоне ређају се на исток и запад, што се види на сл. 47. Свака има свој редни број и своје име. Границе ових зона не иду увек меридијанима, већ одступају помало у једну или другу страну, држећи се територијалне поделе и принципа да подручје које чини једну економску или другу целину треба да спада у једну часовну зону.

Увођењем часовних зона, од бескрајно много месних времена у једном истом тренутку на Земљи прешло се само на 24 званична времена. Користи од оваквог начина рачунања времена веома су велике. Саобраћај и средства за везу при регистровању времена немају потребе да познају географску дужину сваког места, већ само редни број његове часовне зоне, јер се време у једном тренутку од зоне до зоне разликује за по један час, док минуте, секунде и њихови делови остају исти. Путуюћи на запад, путник при прелазу границе сваке зоне помера казаљку свог часовника за по 1^h уназад, а путуюћи на исток — за по 1^h унапред. Овим је олакшана и обрада разноврсних геофизичких, астрономских и других података.

Зонско време су поступно прихватиле све европске земље, а затим и остале, данас безмало све.

У даљим рачунима обележаваћемо зонско време са t_i , $i = 0, 1, 2, \dots, 23$, где индекс i означава редни број зоне. Веза зонског са светским временом тада је:

$$T_i = t_0 + i.$$

4° *Указно време*. За време првог светског рата, а и после њега, многе су земље, руковођене економским разлозима (уштеда у гориву и осветљењу, повећање радног учинка, итд.), завеле тзв. *указно време* (t_u), издајући наредбу да се казаљке свих часовника помере унапред према зонском времену за 1^h или 2^h , или уопште за u часова. Данас је указно време са померањем 1^h према зонском усвојено у многим земљама, а у понеким само у летњем периоду (летње време). У Југославији је још увек званично средњеевропско време.

Веза између зонског и указног времена у општем случају је:

$$t_u = t_i + u.$$

5.3. Часовна служба, или примена астрономије на одређивање, одржавање и преношење времена. — Часовна служба, од великог значаја за науку и праксу свакодневног јавног живота, обавља се на астрономским опсерваторијама и састоји се из операција одређивања, одржавања и преношења тачног времена.

1° *Одређивање времена*. Врши се астрономским посматрањима (мерењима). Видели смо да је у тренутку пролаза звезде кроз меридијан месно звездано време s једнако њеној ректасцензији α :

$$s = \alpha.$$

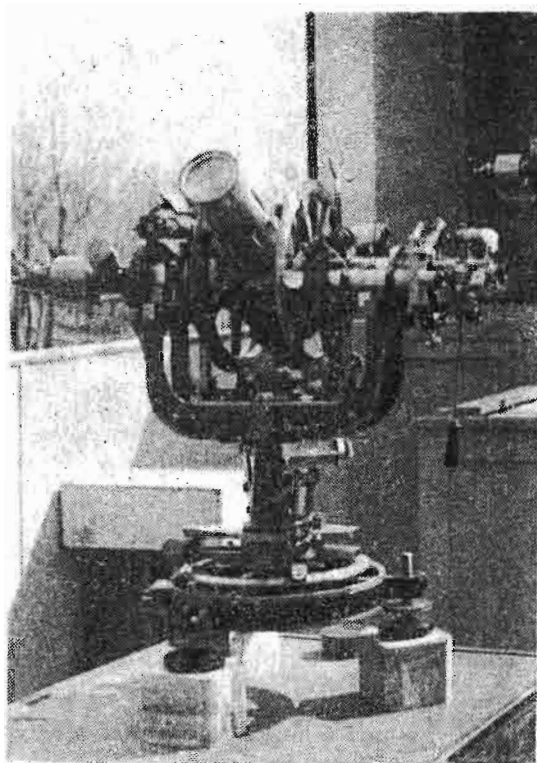
С друге стране, тачно звездано време једнако је збиру часовниковог показивања T и стања или поправке тог часовника C_p :

$$s = T + C_p.$$

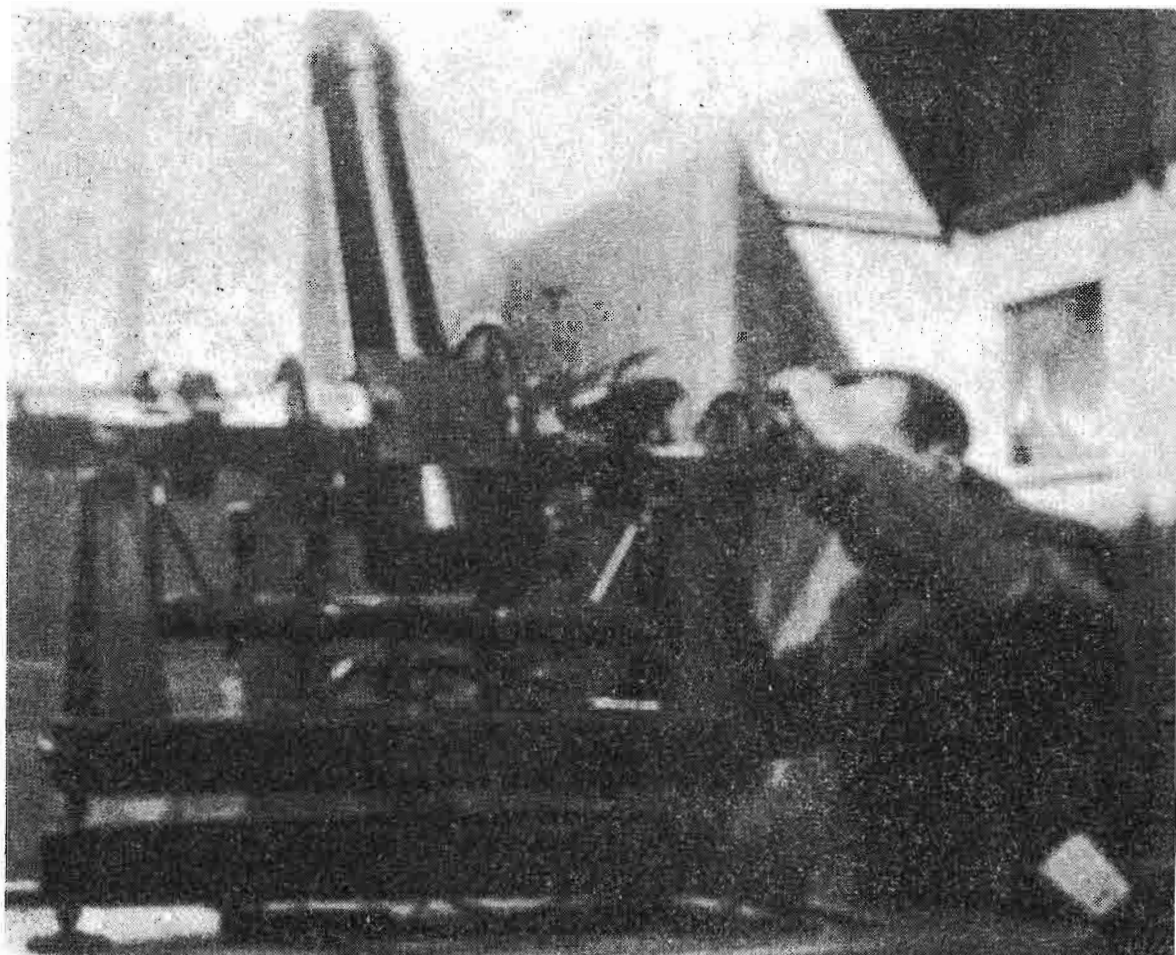
Ако упоредимо последње две једначине, за одређивање часовниковог стања добијамо прост израз:

$$C_p = \alpha - T.$$

Привидна ректасцензија посматране звезде узима се из астрономских ефемерида (годишњака) и интерполује се за тренутак посматрања. За одређивање времена T које показује часовник у тренутку кад је звезда прошла кроз меридијан употребљава се *универзални инструмент* (сл. 48) или, још чешће, *пасажни инструмент* (сл. 49), чији је средњи вертикални конач у видном пољу претходно доведен у меридијан.

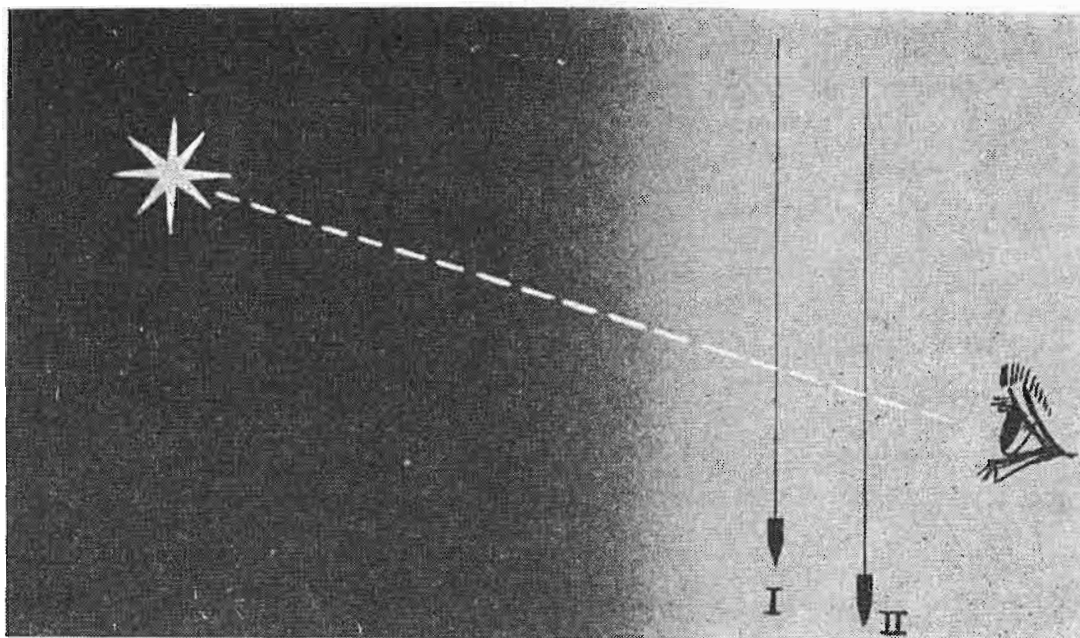


Сл. 48. Универзални инструмент

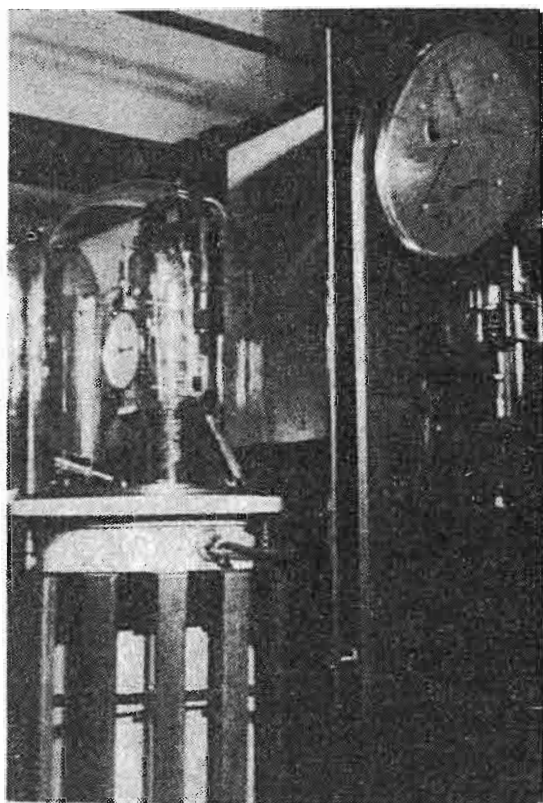


Сл. 49. Пасажни инструмент (мали преносни)

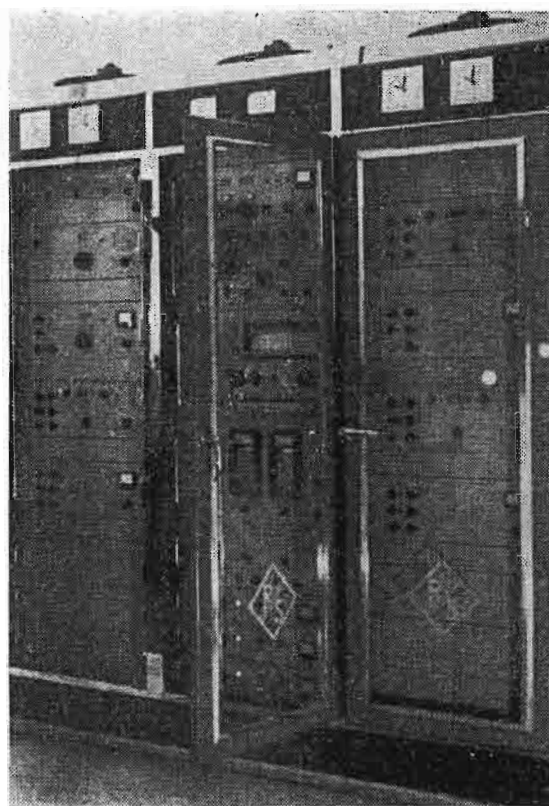
С мањом тачношћу овај се тренутак може одредити помоћу два виска, чија је раван претходно доведена у меридијан. Око се постави тако да се два конца привидно покlope, па се оцењује време када звезда у привидном дневном кретању пресече конач виска (сл. 50).



Сл. 50. Одређивање тренутка пролаза звезде кроз меридијанску раван одређену помоћу два виска



Сл. 51. Часовник с клатном у часовној кабини, на сталној температури и притиску ваздуха



Сл. 52. Батерија од 3 кварцна часовника

Ово се време обично региструје с високом тачношћу на апарату за регистровање времена — хронографу.

2° *Одржавање времена.* Време се може одредити из астрономских посматрања само ведрих вечери. У међувремену се оно *одржава* помоћу прецизних часовника: *хронометра*, *часовника с клатном* (сл. 51), а у последње време — помоћу прецизних *кварцних* (сл. 52) и *атомских часовника*. За сваки часовник води се дневник његовог стања и хода. Ако се његово стање C_p уписује у тренутку сваког астрономског одређивања, оно се може интерполовањем извести за сваки дан у одређеном тренутку. Прве разлике овако изведених дневних стања, или *дневни ход* ΔC_p , часовника, тада служе да простим рачуном добијемо његово стање у сваком тренутку који нас интересује, а с тим и тачно време у том тренутку.

Ако је T_0 стандардни тренутак коме одговара стање часовника C_{p0} , а T тренутак за који нас интересује његово стање C_p , биће:

$$C_p = C_{p0} + \Delta C_p (T - T_0),$$

где је ΔC_p дневни ход часовника. Тада је тачно време у тренутку T који показује часовник:

$$s = T + C_p.$$

3° *Преношење времена.* Све веће опсерваторије више пута дневно емитују преко оближњих радио-станица секунду свог часовника у виду тзв. *часовних сигнала*. Пре њихове емисије овај се часовник дотера да показује тачно време на тај начин што му се израчуна стање C_p за тренутак емисије и алгебарски дода на његово показивање.

Сви који су заинтересовани за тачно време могу тада лако, преко радио-пријемника, да упореде показивање свог часовника T у тренутку емисије са показивањем часовника који емитује тачно време s и тако да одреде стање свог часовника:

$$C_p = s - T,$$

тј. да располажу тачним временом. Часовна служба је последњих деценија организована на међународној основи и захваљујући томе обезбеђује тачност од $0^s,001$ у познавању времена.

5.4. Ефемеридско време. Нова дефиниција секунде. Атомско време. — До половине овог века брижљивим испитивањима је откривен читав низ веома ситних неравномерности у Земљином обртању, па се није више могао задржати средњи дан односно средња секунда као основна јединица за мерење времена, јер је изгубила основну особину која се од ње тражи — *непроменљивост*. Зато је међународним договором 1958. год. одлучено да се време Земљиног обилажења око Сунца узме убудуће за званично време и назове *ефемеридско време*, а да се његове јединице изведу из тропске године тако да се изванредно мало разликују и што мање разилазе од старих временских јединица.

Најзад је усвојена, као полазна јединица за мерење ефемеридског времена, *тропска година за епоху 12^h ефемеридског времена 0. јануара 1900. год.* Мања јединица је *ефемеридски дан* или 365,24219878-ми део горње тропске године. Још мања јединица је *ефемеридска секунда* као 86 400-ти део ефемеридског дана, или 31 556 925,9747-ми део горње тропске године.

Последњих година усавршени су кварцни часовници чију равномерност хода обезбеђује константно треперење плочице кварца у електричном пољу. Пронађен је и *атомски часовник*, још равномер-

нијег хода, који је обезбеђен изванредно константним периодичним кретањима у атому водоника или цезијума. Ови часовници не одступају од тачног времена ни $0^s,001$ за годину дана. Зато је последњих година међународним договорима уведено и тзв. *атомско време* које приказују атомски часовници прилагођени по ходу ефемеридском времену, а време које се одређује из астрономских посматрања названо је „светско време“. Тако је временски еталон, уместо астрономског постао физички, као и еталони за дужину и тежину. Атомско време је униформније од Земљине ротације и од њене револуције и данас омогућује да се према њему ближе испитују и упознају ове две природне појаве, као и да се дође до читавог низа открића у вези с њима.

5. 5. Веће јединице за време — недеља, месец и година. Календар. — Још у прастара времена осетио је човек потребу и за већим временским јединицама од дана и увео седмодневну недељу и месец, а касније и грађанску годину, за мерење дужих временских размака. И месец и грађанска година, уведени за потребе практичног живота, морали су садржати цео број дана, а грађанска година и цео број месеци. Међутим, ове јединице нису произвољне, већ узете из природе. Но, одговарајуће природне јединице не садрже цео број дана: синодички месец има $29\ 531 \dots$ (види 7.3), а тропска година $365,24220 \dots$ средњих сунчаних дана. Осим тога, синодички месец и тропска година ни међу собом нису самерљиви.

Како се, међутим, вештина састављања календара и састоји баш у томе да се подеси да се исте природне појаве враћају у исти датум у години, то узимање месеца и година са целим бројем дана, као и године са целим бројем месеци за веће временске јединице, мора пре или после довести до разилажења календара од природних појава. Зато је састављање календара који ће се неограничено и идеално слагати с током природних појава немогуће.

1° *Јулијански календар или стари стил.* Наш данашњи календар води порекло од новог римског календара, који је био соларни. У њему се водило рачуна само да се подеси да се појаве везане за Сунце, тј. за годишња доба, враћају у исте датуме.

Да би учинио крај хаотичном стању у коме се налазио стари римски календар, на предлог александријског астронома *Сосигена*, Јулије Цезар је утврдио календар по коме је после сваке 3 *просте године* са по 365 дана уведена једна преступна са 366 дана, како би се изравнала разлика између календарске и природне, тропске године, која би се накупила за 4 календарске. Допунски дан додат је у преступној години фебруару, који је у оно време био последњи месец у години.

Овако замишљен и остварен, нови римски календар добио је по *Цезару назив јулијански*. Он се употребљавао све до скоро у неким европским државама под именом *стари стил*.

Овакво рачунање времена је веома просто и врло се дуго слаже с природним током појава, а затим почиње веома полако да се разилази од њега, па је и данас задржано у науци да се по њему рачунају размаци између удаљених догађаја.

2° *Грегоријански календар или нови стил*. Са трајањем просечно 365,25 дана, јулијанска је година била дужа од тропске за 11^м 14^с. Ова разлика није више била велика, па је она достигала 1 дан тек након сваких 128 година. Пролећна равнодневица, која је у IV веку падала 21. марта, у V је падала 20. марта, у VI 19. и тако се све више помицала ка зимским месецима. У XVI веку ова разлика је нарасла већ на 10 дана, што је тада почело падати у очи по дужини дана.

Папа *Гргур XIII* усвојио је предлог италијанског астронома *Лилија* и извршио реформу јулијанског календара. Циљ ове реформе био је да се поништи дотле нагомилана разлика између календарске и тропске године и да се убудуће године рачунају тако што ће се аутоматски поништити она разлика од 1 дана сваких 128 година која се дотле појављивала. Како ова разлика износи 3 дана за приближно 400 година, то је решено да се убудуће у размаку од 4 stoleћа рачунају 3 преступне године мање но до тада.

Прво је одлучено да се иза четвртка, 4. октобра 1582. године, рачуна петак, 15. октобар. А да би се убудуће спречило одступање календарске године од тропске, решено је да од година којима се завршавају векови (1600, 1700, 1800...) буде преступна тек свака четврта (1600, 2000, 2400...).

Овај *грегоријански календар*, или *нови стил*, који је доста ближи природи од старог, у току скоро 4 stoleћа веома поступно су почеле усвајати скоро све земље, тако да је он постао општи званични календар.

3° *Хронологија*. Календар се у току много векова и код разних народа развијао на разне начине, па се у разна времена служило и разним календарима. Сваки од њих не само да је имао различит број дана или месеци у години и на разне начине подешавао да му се грађанска година не разиђе много од природне него је имао и свој почетак од кога је бројао године. То су тзв. *ере*. Њих има преко 200. Све су оне скоро везане за легендарне догађаје, па зато нестварне. Познате су тако, на пример, *византијска ера*, по којој „стварање света“ пада 1. септембра 5508. године пре н.е., *ера олимпијада*, која почиње 776. године пре наше ере, итд. И сама наша, тзв. *хришћанска ера* фиктивна је, јер је тек у VI веку произвољно изабрана година Христовог рођења. Пошто се историјским подацима о Христовој личности и његовом рођењу не располаже, то се она данас у науци сматра за митолошку.

Овакве разноврсни календари и ере уносе тешкоће и забуне кад треба израчунати датуме старих догађаја по нашем данашњем календару. Да би се оне отклониле, Скалигер је још у VII веку предложио једну неутралну периоду од 7980 јулијанских година која почиње 1. јануара у подне 4713. године пре наше ере. Овај дан треба рачунати као нулти дан *јулијанске периоде*, а од тада су сви дани нумерисани редним бројевима у јулијанској периоди. Избор броја 7980 за број година у периоди, као и њен почетак, имају својих астрономских разлога.

Данас сви астрономски годишњаци, осим календарских датума, дају за сваки дан у години и редни број јулијанске периоде који томе датуму одговара, а дају и цео или делимичан преглед датума јулијанске периоде. Са овим подацима и упутствима које ови годишњаци дају, лако је за сваки прошли догађај вршити прелаз с једног календара на други и с једне ере на другу, па и одређивати недељне дане који одговарају појединим датумима у прошлости и будућности и рачунати претекло време између историјских и других догађаја.

ПИТАЊА

1. Која је основна јединица за мерења времена и која је њена основна карактеристика?
2. Зашто се звездани дан не употребљава у практичном животу за мерење времена?
3. Шта је прави дан, а шта право време?
4. Зашто се право време не може користити у практичном животу?
5. Шта је средњи дан, а шта средње време?
6. Шта је временско изједначење?
7. Шта је грађанско време и зашто се прешло са средњег на грађанско време?
8. Шта је месно, а шта зонско време?
9. Зашто се прешло са месног на зонско време?
10. Шта је датумска граница?
11. Шта је указно време?
12. Из којих се операција састоји часовна служба?
13. Како се одређује време?
14. Како се одржава време?
15. Како се преноси време?
16. Шта је ефемеридско време и каква је нова дефиниција секунде?
17. Шта је атомско време?
18. Које су веће јединице за време од дана?
19. Каквих све врста календара има?
20. У чему је јулијанска реформа календара?
21. У чему је грегоријанска реформа календара?
22. Шта су ере, а шта хронологија?

ЗАДАЦИ

1. У тренутку горње кулминације звезде α Ориона ($\alpha = 5^h 51^m$) часовник који ради по гриничком звезданом времену показује $15^h 9^m$. Одреди географску дужину тог места од Гринича.
2. Гринички часовник емитује часовне сигнале у $12^h 0^m$. У том тренутку часовник који ради по месном времену показује $15^h 18^m$. Колика је географска дужина тога места?
3. 14. јуна на броду је измерена секстантом Сунчева зенитна даљина у тренутку његове кулминације; износила је $22^\circ 2'$, а хронометар који ради по гриничком звезданом времену показивао је $8^h 23^m$. Сунчеве координате су у том тренутку биле $\alpha = 5^h 26^m$, $\delta = +18^\circ 25'$. Нађи на карти место на коме се брод налазио.
4. Израчунај колико би часовник са секундним клатном који тачно ради у Београду ($g = 9,781 \text{ m/sec}^2$) заостајао на екватору ($g_0 = 9,781 \text{ m/sec}^2$)?
5. Кад се зна да тропска година садржи 365, 2422 средњих дана, а 366,2422 звезданих дана, израчунај колико износе у звезданом времену један средњи дан, један средњи час, једна средња минута и једна средња секунда и колико износе у средњем времену 1 звездани дан, 1 звездани час, 1 звездана минута и 1 звездана секунда.
6. Изрази размак од $15^h 11^m 50^s 8$ звезданог времена јединицама средњег времена.
7. Изрази размак од $10^h 12^m 5^s 32$ средњег времена јединицама звезданог времена.
8. 22. септембра у поноћ поклапа се почетак грађанског дана с почетком звезданог дана. Затим се звездано време повећава према грађанском за око 4^m

дневно или за око 2^h месечно. Израчунај приближно колико ће бити звездано време у поноћ 1. маја а колико 1. маја у $20^h 30^m 50^s$?

9. Нађи зонско време у Београду ($L = - 1^h 22^m 3^s$) у $18^h 24^m 30^s$ месног средњег времена.

10. Колики је највећи могући број недеља (мисли се на недељу као дан) у фебруару? За кога и под којим условима?

ПОСМАТРАЊА

1. Начини гномон и одреди гномоном правац подневачке линије.

2. Одреди гномоном географску ширину свог места.

3. Одреди гномоном нагиб еклиптике према екватору.

4. Обеси два виска у равни меридијана. Одреди помоћу њих тренутак пролаза једне познате сјајне звезде кроз меридијан и из њега поправку свог часовника.

5. Покушај да направиш сунчани часовник с хоризонталним цифраником. Забележи по њему у једном тренутку право време, претвори га у средње и затим у средњоевропско и тако добијено време упореди с временом које је у истом тренутку показивао твој ручни часовник. Да ли ова два времена морају да се поклопе?

ГЛАВА ШЕСТА

ПЛАНЕТА ЗЕМЉА

Земља је чврсто небеско тело чија је површина већим делом покривена водом (око 70%). Изнад Земљине површине налази се гасовити омотач који се назива *атмосфера*.

Планету на којој живи, човек је могао најбоље и да проучи. Упознао је скоро читаву њену површину. Затим је кренуо у истраживање тајни Земљине унутрашњости, као и онога што се налази високо у атмосфери, даље од облака, и, најзад, успео да се одвоји од своје планете и крене на друга небеска тела која побуђују његову радозналост.

6. 1. Земљин облик и величина. — Прастари народи сматрали су да је Земља облика кружне плоче која се ослања на извештан ослонац. Нешто касније је за испупченост њене површине служила као доказ појава да се при приближавању лађе обали прво запази врх катарке, а затим нижи делови брода. Но да је Земља *лоптастог* облика већ су знали Грци у старом веку. Као доказ наводили су кружни облик хоризонта ма с које тачке на Земљи посматрали и кружни облик ивице Земљине сенке на Месечевој површини при његовим помрачењима, ма у ком положају Земље и Месеца се она догађала (Аристотел, IV в. пре н.е.).

Ератостен, у II веку пре н.е., одредио је први димензије Земљине лопте тако што је измерио дужину мердијанског лука између две тачке и из астрономских посматрања одредио географске ширине крајњих тачака. И заиста, ако разлика географских ширина износи m° , разломак $m^\circ/360$ показује који део кружнице представља измерени лук између те две тачке. Ако је дужина измереног лука n у km, тада се очигледно Земљин обим у km добија из израза:

$$S = 360 n/m.$$

Тако је утврђено да полупречник Земљине лопте износи 6 370 km, а њен обим око 40 000 km.

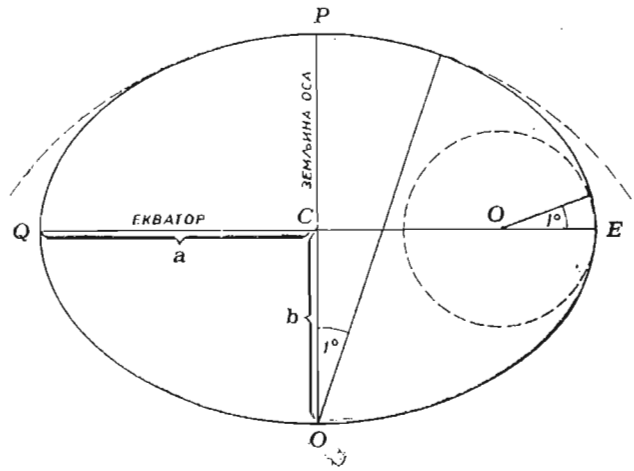
Њутн је 1687. год. користећи Хајгенсове резултате о центрифугалној сили, дошао до теоријског закључка да Земља мора, због центрифугалне силе која се појављује услед њеног обртања, бити спљоштена на половима, а испупчена на екватору — мора имати облик *обртног елипсоида или сфероида*.

Многа степенска мерења на разним географским ширинама показала су да је Земљина кривина доиста већа на екватору него на половима (сл. 53), тј. да је тачније, Земља, сфероидног облика. Земљин поларни полупречник b краћи је од екваторског a за 21 km, или за $1/298$ део екваторског полупречника. Ова величина:

$$a = (a - b)/a$$

назива се *Земљина спљоштеност*.

Већ први снимци добијени из Земљиних вештачких сателита потврдили су да је Земља сферног облика. Кад се затим приступило и одређивању Земљине спљоштености, показало се да је спљоштеност јужне Земљине хемисфере врло мало већа но северне, те да је, још тачније, Земља *крушкастог облика*.



Сл. 53. Земљина кривина на полу и екватору

За најтачнији Земљин облик (не узимајући у обзир неравнине Земљиног рељефа) узима се екипотенцијална, или нивоска, површина силе Земљине теже, која је најближа површини Земљиних океана у стању равнотеже и назива се *геоид*. Она се одређује прецизним методама више геодезије и астрономије.

6.2. Земљина густина. — Помоћу закона гравитације, који је ближе објашњен у 8.7:

$$F = fm_1m_2/r^2,$$

можемо израчунати Земљину масу.

Масе m_1 и m_2 привлаче се силом F која је сразмерна квадрату њиховог растојања. Константа гравитације у CGS-систему износи:

$$G = 6,67 \times 10^{-8} \text{ дина.}$$

Ако камен који лежи на Земљиној површини има масу m , а тежину $f = mg$, онда ће привлачна сила између камена масе m и Земље масе M бити једнака тежини камена, тј.:

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

где је $R = 6370$ km Земљин полупречник. Одатле је Земљина маса:

$$M = gR^2/G = 6 \times 10^{27} \text{ g.}$$

Знајући Земљин полупречник и занемарујући чињеницу да је Земља геоид, можемо израчунати њену запремину:

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

Густина неког тела је његова маса у јединици запремине. Укупна маса Земље 6×10^{27} g налази се у запремини $1,08 \times 10^{27}$ cm³. Одавде је врло лако израчунати Земљину средњу густину:

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

Ова густина је знатно већа од густине Земљине коре, која износи око 2,67 g/cm³, што доказује да Земљина унутрашњост мора да има врло велику густину да би Земљина средња густина била толико већа од густине њене коре.

6.3. Земљина унутрашњост. — Врло је тешко проучити Земљину унутрашњост, јер су непосредна мерења вршена само до дубине од око 9 km, што је занемарљиви део растојања до њеног центра. За проучавање неприступачних слојева унутрашње сложене структуре користе се разноврсне методе. Драгоцене податке о површинским слојевима дала су геолошка, гравиметријска и геомагнетна истраживања, као и проучавања радиоактивних елемената. Најуспешнија метода за испитивање дубоких слојева Земљине унутрашњости је сеизмичка метода. Сеизмички таласи, који се јављају приликом земљотреса, простиру се кроз Земљу и на разним местима на њеној површини региструју се осетљивим инструментима који се називају *сеизмографи*. Постоје више врста сеизмичких таласа. За проучавање Земљине унутрашње грађе најважнији су таласи типа *L* и *T*, тј. лонгитудинални и трансверзални таласи. Код првих се осцилације врше у правцу простирања таласа, а код других — нормално на правац простирања. Неједнаке брзине распростирања *L*- и *T*-таласа функције су физичког стања средине кроз коју пролазе таласи. Просечна брзина *L*-таласа је око 7 km/s, а *T*-таласа око 4 km/s. Међутим, обе ове брзине се мењају ако *L*- и *T*-таласи пролазе кроз нехомогену средину, чији су састав и густина различити на разним местима. Због тога долази до рефракције сеизмичких таласа, која се разликује од рефракције светлости по томе што брзина светлосних таласа опада при преласку у средину веће густине, док код сеизмичких таласа брзина расте у гушћим срединама. На слици 54 схематски је приказано простирање ових таласа. Ако у тачки *Z* избије земљотрес, ту ће настати и сеизмички *L*- и *T*-таласи, који ће се простирати кроз Земљу у разним правцима. На Земљиној површини, у тачкама које су удаљене више стотина и хиљада километара од тачке, *Z*, осетљиви сеизмографи региструју ове таласе. У области *Z* до *A* сеизмограф региструје оба типа таласа — *L* и *T*. У области тзв. „сенке“ — од *A* до *B* региструју се само врло слаби *L*-таласи, док се у области *B* — *B*, после „сенке“, јављају опет *L*-таласи знатне јачине. Ове појаве показује слика 54. Кроз чврсто тело могу да се простиру лонгитудинални и трансверзални таласи и зато се *L*- и *T*-таласи региструју од *Z* — *A*. *T*-таласи се не простиру ни кроз течности ни кроз гасове. Одсуство *T*-таласа у области испод *A* наводи на помисао да је Земљино језгро вероватно у течном стању. На овај начин, као и мерењем брзине *L*- и *T*-таласа, проучена је грађа Земљине унутрашњости до дубине од око 5000 km.

На основи проучавања радиоактивних елемената данас се сматра да је Земља стара око 4,5 милијарде година. Такође се сматра да је некад била у течном стању, па се затим охладила.

Сада Земља има чврсту кору, која је испод континената дебљине око 30—60 km, док је испод океана много тања, понегде само 5—10 km.

Земљину унутрашњост испод коре можемо поделити на две области. Омочак, или *манџија*, простире се до дубине од 2900 km. На још већој дубини налази се *језгро*. Земљино језгро на већој дубини од 5000 km још није проучено.

Геофизичка проучавања Земљине унутрашњости показују да од површине ка центру расту температура, притисак и густина. Тако се сматра да је у Земљиним језгру густина око 12 g/cm³, а температура, вероватно, преко 2000°C.

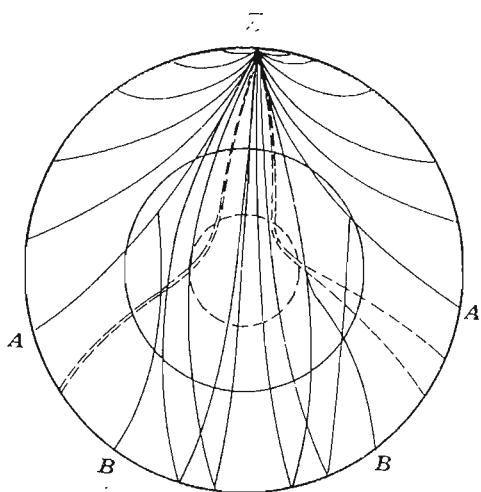
Који су елементи који чине Земљино језгро и у каквом су физичком стању, тешко је рећи. Распрострањено је мишљење да Земљино језгро сачињавају тешки метали твожђе и никал. Међутим, ако је тачна претпоставка да је притисак у Земљиним језгру два милиона атмосфера, онда се материја под тако из-

ванредно великим притиском налази у стању које до сада није проучено у лабораторијским условима.

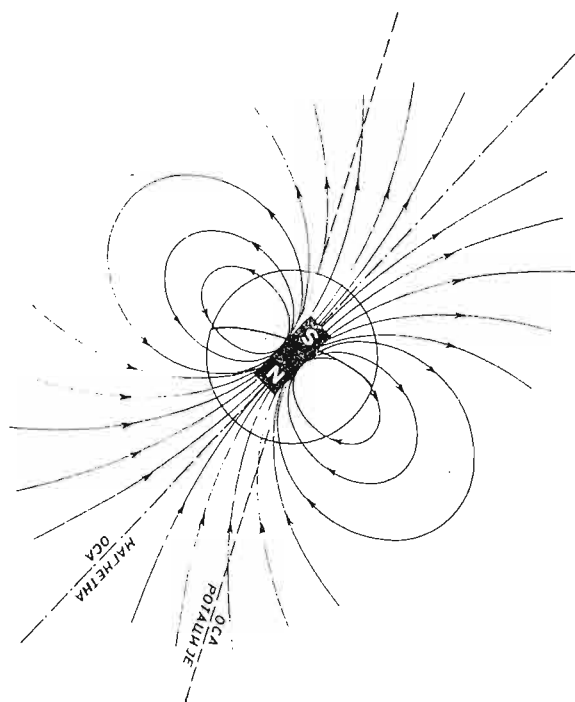
6. 4. Земљино магнетно поље. — Земљин магнетизам ствара у простору око Земље поље које делује на магнетну иглу и поставља је у правац север — југ. Ово поље се назива *геомагнетно*; оно је векторско, па је за његово одређивање потребно знати, осим јачине, његов правац и смер. Најстарији и врло једноставан инструмент за одређивање правца и смера геомагнетног поља је *бусола*, или *компас*. Савремени инструменти за мерење геомагнетног поља су сложенији и они се једним именом називају *магнетометри*.

Досадашња проучавања показују да се геомагнетно поље у Земљи може представити пољем шипкастог магнета чија оса пролази кроз Земљино средиште и са осом Земљине ротације заклапа угао од око 11° (сл. 55). Тачке у којима магнетна оса пресеца Земљину површину називају се *геомагнетни полови*. Геомагнетни полови у току времена мењају свој положај. Магнетне линије сила означавају правце у којима се поставља магнетна игла компаса на разним местима.

Геомагнетно поље простире се и далеко изван Земљине површине — све до неколико десетина хиљада километара. На великим висинама ово је поље деформисано под дејством Сунца. Простор око Земље у коме делује геомагнетно поље назива се *магнетосфера*.



Сл. 54. Простирање сеизмичких таласа



Сл. 55. Земљино магнетно поље

Геомагнетно поље се мења у простору и времену. Неправилне промене геомагнетног поља у простору називају се *магнетне аномалије*. Временске промене геомагнетног поља називају се *варијације*. Варијације геомагнетног поља могу бити веома споре са периодама од десет и више година — то су *секуларне варијације*; варијације могу бити и знатно брже, са периодама од неколико дана до неколико делова секунде — то су *пулзације*. Узроци ових брзих варијација су различити. Варијације које настају као последица Сунчевог дејства на Земљу биће ближе објашњене у глави 11. Порекло Земљиног магнетног поља је и поред дугогодишњег проучавања остало нерешен проблем. Постоји неколико теорија, али се коначно решење овог проблема може очекивати тек онда када се боље упозна физичко стање Земљиног језгра.

Земљино магнетно поље није неки изузетак у природи. Магнетно поље је појава која се јавља свуда у нашем Звезданом систему. Сунце има магнетно поље два пута јаче од Земље, планета Јупитер око 10 пута јаче од Земље; и

многе звезде имају магнетно поље, па и Млечни Пут у целини има магнетно поље. Мада је оно сто хиљада пута слабије од Земљиног, ипак се о утицају овог поља мора водити рачуна при решавању проблема структуре нашег Звезданог система.

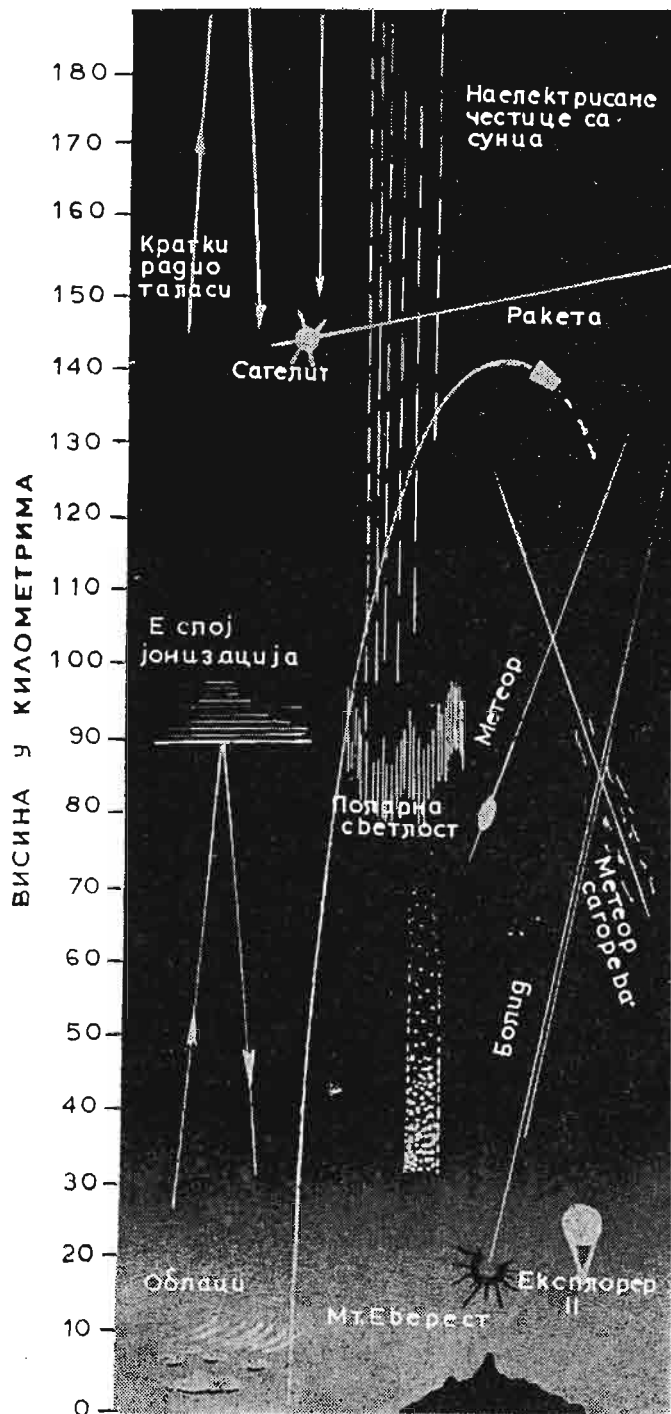
6. 5. Земљина атмосфера. — Гасовити омотач који окружује Земљу назива се атмосфера. Земљина атмосфера нема оштру горњу границу и зато је тешко тачно одредити висину, тј. дебљину атмосфере. Густина атмосфере опада с висином по експоненцијалном закону, тј. тако

да се половина свих ваздушних маса налази на висини испод 6 km, половина преосталог ваздуха испод 12 km, половина оног што је преостало испод 24 km, итд.

Атмосфера је, по свом саставу, смеша гасова, и то 78% молекулског азота (N_2), 21% молекулског кисеоника (O_2), а 1% чине аргон, угљен-диоксид, водена пара и други гасови заједно. Најзаступљенији елемент у природи — водоник налази се само у високим слојевима Земљине атмосфере.

Земљину атмосферу можемо приказати једним моделом (сл. 56), где разне области имају различите особине, па и различита имена. Већ смо истакли да густина ваздуха нагло опада са висином, па то није ни приказано на овој слици. Овде су дате крива променне температуре (пуна линија на десном крају слике) и концентрација наелектрисаних честица, тј. њихов број у 1 cm^3 (испрекидана линија).

Ако узмемо температуру као основну карактеристику, онда атмосферу можемо поделити на пет области: тропосферу, стратосферу, мезосферу, термосферу и егзосферу.



Сл. 56. Модел Земљине атмосфере

Тропосфера је област најближа Земљиној површини и због тога најгушћа. У њој се одигравају процеси који одређују климу и временске услове које проучава метеорологија. За ову област је карактеристично да температура опада са висином ($0^{\circ},6 - 0^{\circ},7$ C/100 m). Висина тропосфере је од 6—18 km (највећа на екватору).

Стратосфера је област од 18 до 50 km, а до 22 km је скоро константне температуре око -55°C и због тога нема вертикалних струјања ваздушних маса. Изнад 22 km температура стално расте и достиже 0°C на горњој граници стратосфере.

Мезосфера је област у којој температура прво расте, па затим опада до највећег температурског минимума у атмосфери -90°C . Горња граница мезосфере је на око 80 km изнад Земље.

Термосфера је област у којој температура стално расте (мада споро) од -90°C до око 2000°C .²⁰ Због постепеног прелазу у вишу област тешко је одредити горњу границу термосфере. Она се налази негде на око 500 km изнад Земље.

Егзосфера је највиша област атмосфере према овој класификацији, где је температура основна карактеристика. Горња граница јој је на око 1000 km. Атоме атмосферских гасова у овој области једва успева да задржи Земљино гравитационо поље.

Атмосферу можемо посматрати и на други начин. Према процесима који се у њој дешавају, делимо је на три основне области: *хемисферу*, *јоносферу* и *протоносферу*.

Хемисфера је област неутралне атмосфере, која је најближа Земљи. У њој главну улогу играју хемијски процеси. Горња граница јој је на око 60 km.

Јоносфера је област атмосфере одмах изнад хемисфере. Она је знатним делом јонизована под дејством зрачења и честица са Сунца. Горња граница јоносфере је на око 600 km изнад Земље. Ова област је изузетно важна за простирање радио-таласа. Осим тога, у њој се дешавају многе геофизичке појаве, као што су поларна светлост, токови електричне струје и др.

Под утицајем Сунчевог зрачења различитих енергија образују се у јоносфери четири слоја која се налазе један изнад другог на разним висинама.

Слој D има највећу концентрацију електрона, око 10^3 el/cm³, на висини $h = 80$ km. Слој E има највећу концентрацију, око 10^4 el/cm³, на висини $h = 100$ km. Слој F₁ има највећу концентрацију, око 10^5 el/cm³, на висини $h = 250$ km, и слој F₂ има највећу концентрацију око 10^6 el/cm³, на висини $h = 350$ km. Ови подаци представљају средње вредности. Промене у јоносфери имају како периодичан тако и изненадан карактер, па су неопходна стална мерења која се врше са Земље помоћу радио-таласа и непосредно ракетама и сателитима.

Протоносфера је највиша област Земљине атмосфере и налази се на висинама које одговарају егзосфери, али и изнад ње. Термин *егзосфера* употребљава се за неутралну компоненту високе атмосфере, где честице гаса лако напуштају простор због слабог утицаја Земљине гравитације и тако губе везу са Земљом.

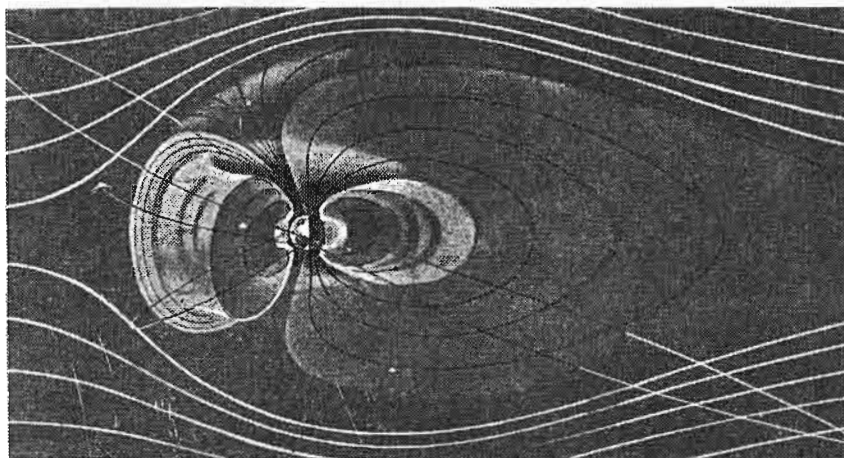
Термин *протоносфера* употребљава се за наелектрисану компоненту Земљине атмосфере на висинама до 2000 km коју чине протони (H⁺) и хелијумови јони (He⁺). Кретања наелектрисаних честица углавном одређује Земљино магнетно поље, а не гравитација, као код неутралних честица.

Горњу границу Земљине атмосфере је тешко одредити; она је на 2000 до 3000 km. Изнад ове висине гасовити Земљин омотач прелази у међупланетски простор. Постоји ипак једно поље чији утицај не престаје на 3000 km, тј. на половини Земљиног полупречника R_{\oplus} . То је геомагнетно поље које се у правцу Сунца простире до око $10 R_{\oplus}$. Простор који обухвата ово поље назива се

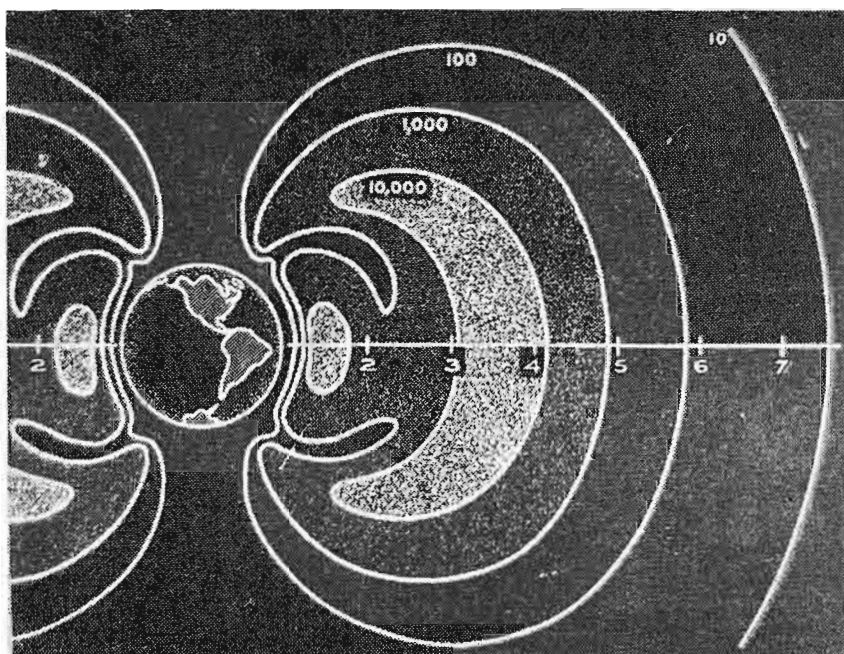
²⁰ Овако висока температура не треба да наведе на погрешан закључак да ће свако тело које се нађе на тој висини да сагори. Треба имати на уму да је атмосфера толико разређена да и поред високе кинетичке температуре молекули не могу да пренесу топлоту на површину тела оном брзином којом тело ослободи, тј. израчи топлоту.

магнетосфера (сл. 57). У унутрашњости магнетосфере налазе се две области, које су на слици приказане осенчено; то су радијациони појаси наше планете.

6.6. Радијациони појаси. — Дуго се сматрало да Земљина атмосфера изнад 3 000 km прелази у међупланетски простор који одговара идеалном вакууму на Земљи. Откриће да на висинама од 3 500 km ($1 R_{\oplus}$) и 16 000 km ($3-4 R_{\oplus}$) постоје две области наелектрисаних честица јесте један од највећих успеха Међународне геосфизичке године²⁷. Ово су открили 1958. год. амерички и совјетски истраживачи помоћу сателита и космичке ракете.



Сл. 57. Магнетосфера

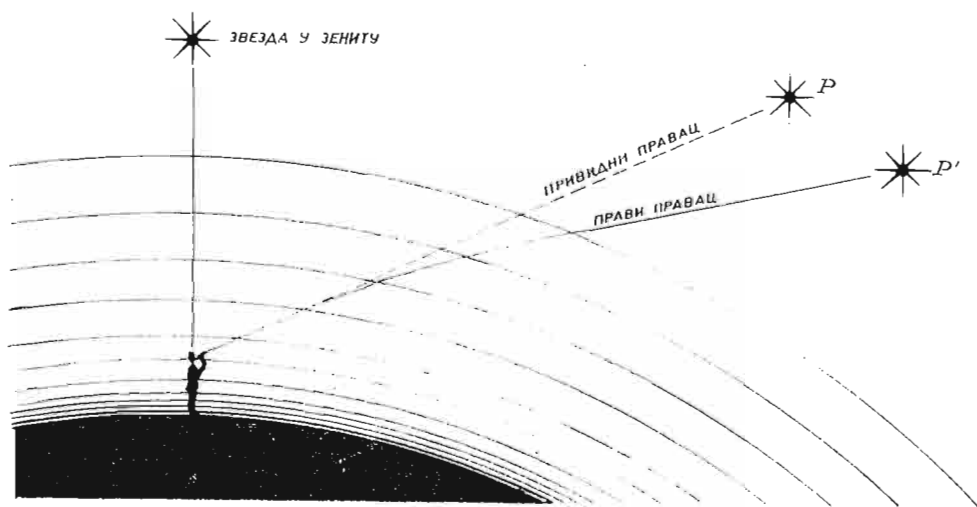


Сл. 58. Радијациони појаси

На сл. 58. схематски су приказани радијациони појаси. Они садрже знатне концентрације електрона и протона високих енергија, чије сложено кретање одређују линије сила Земљиног магнетног поља.

²⁷ Међународна геосфизичка година (МГГ) организована је 1957/58. год. То је један од највећих подухвата у историји науке. Предмет проучавања било је Сунце и све оне геосфизичке појаве на које оно утиче. У МГГ, поред 70 других земаља, учествовала је и Југославија.

6. 7. Утицај атмосфере на астрономска посматрања. — Пре него што зрачење звезда стигне до посматрачевог ока, оно мора да прође кроз Земљину атмосферу. У атмосфери зрачење небеских тела претрпи преламање, или *рефракцију*, расејавање, или *дисперсију*, и упијање, или *апсорпцију*. Сваки од ових процеса мења првобитан карактер зрачења небеског тела.



Сл. 59. Астрономска рефракција

1° *Астрономска рефракција.* Светлосни зрак се од звезде до горње границе Земљине атмосфере простире праволинијски, јер пролази практично кроз вакуум. Међутим, у Земљиној атмосфери зрак иде из ређе средине у гушћу и због тога се савија ка нормали на граничну површину два слоја. Како се густина атмосфере нагло повећава са приближавањем Земљи, то се светлосни зрак савија све јаче и јаче. Ово је показано на слици 59. На тај начин посматрач са Земље, место у тачки P , види звезду у тачки P' , тј. на мањој зенитној даљини него што се она стварно налази. Ова појава се назива *астрономска рефракција*. Она се не јавља само ако је звезда у зениту, јер се зрачење тада простире у правцу нормале на атмосферске слојеве. Са повећањем зенитне даљине нагло расте астрономска рефракција. Да би ово било очигледније, навешћемо само неке податке.

Зенитна даљина	Астрономска рефракција
0°	0'00''
40°	0'49''
80°	5'19''
88°	18'18''
90°	35'24''

Уколико је звезда ближе хоризонту, утолико је ефекат рефракције изразитији. Због ове појаве ми изјутра видимо излаз Сунца пре него што се оно стварно појави на хоризонту, а у вечерњим часовима

привидни залаз Сунца касни, мада је оно стварно већ испод хоризонта и не би се видело да нема астрономске рефракције. Ова појава продужује дан за неколико минута; она се не јавља само код Сунца већ и код осталих небеских тела, па је за тачно одређивање њихових положаја важно обрачунати величину астрономске рефракције.

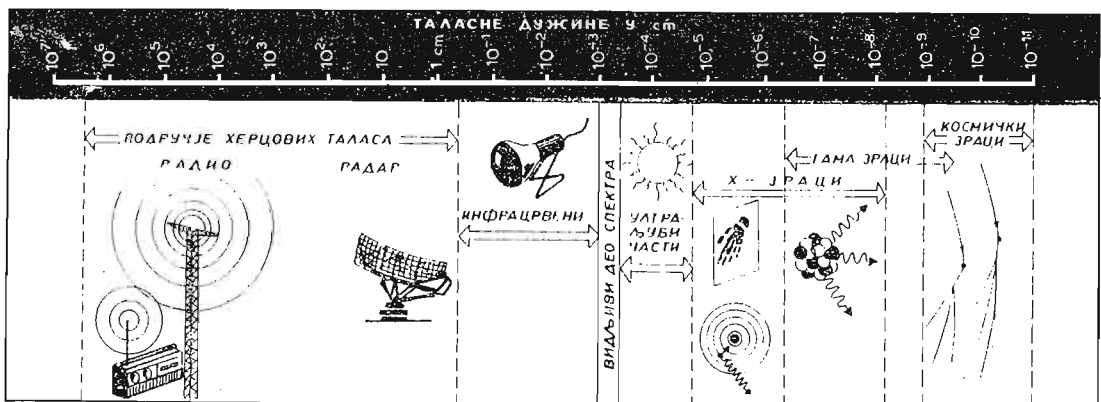
2° *Треперeње звезда.* Ова појава настаје због мешања и померања атмосферских гасова у тропосфери услед брзих промена температуре и густине ваздуха. Светлост која са звезде пролази кроз такву нехомогену атмосферу мења сјај за око 10%, што је довољно да се стекне утисак да звезда трепери. Ово се дешава само са тачкастим, веома удаљеним изворима светлости какве су звезде. Планете и Месец, међутим, не трепере. Они имају знатно веће привидне пречнике, јер су нам много ближи од звезда. И код њих може да трепери светлост са појединих делова привидног котура, али ово треперење није синхронизовано; зраци прелазе различите путање, па се у интегралној светлости ефекат поништава.

По овом ефекту лако се разликују планете од звезда.

3° *Атмосферско расејавање светлости.* Честице прашине и дима, па и сами молекули у атмосфери, расејавају део упадне светлости као мала различито оријентисана огледала. Од упадне беле светлости молекули у атмосфери најјаче расејавају светлост краћих таласних дужина. Због ове појаве и небо нам изгледа плаве боје, а да нема атмосфере, изгледало би нам црно, као што га виде астронаути кад изиђу изван Земљине атмосфере.

Постоји још један ефекат атмосферског расејавања, а то је *сумрик*, тј. зора ујутру и сутон увече, време кад су горњи слојеви атмосфере осветљени пре излаза и после залаза Сунца, па на Земљу пада од њих одбијена светлост.

4° *Атмосферска апсорпција.* Од широког спектра електромагнетског зрачења Сунца и звезда на разним таласним дужинама Земљина атмосфера пропушта само један мањи део, док је остало зрачење делимично или потпуно апсорбовано у атмосфери. Атмосфера пропушта видљиви део спектра и део спектра радио-таласа (сл. 60), а апсорбује таласне дужине краће од 2900 Å, тако да се већи део ултраљубичастог и X-зрачења апсорбује у атмосфери. То је добро с биолошке стране, јер су та зрачења врло опасна за живи организам. Међутим, за астрономе је спектар зрачења једини извор обавештења о удаљеним небеским телима, па је атмосфера доскора била непремостива тешкоћа за астро-



Сл. 60. Спектар

номска посматрања. Због тога су многе астрономске опсерваторије грађене на високим планинама, где је ваздух ређи и апсорпција мања (M-t Wilson, M-t Palomar, Pic du Midi, итд.). Избацивање космичких ракета и вештачких сателита је изузетан успех науке који је омогућио изношење астрономских и других инструмената изван границе Земљине атмосфере. Оно што је вековима био сан многих астронома постало је данас стварност. После 1960. године почиње нова ера у астрономији. Неки је називају ренесанса астрономске науке, неки ракетна астрономија. У сваком случају за последњих десет година астрономија је изванредно обогаћена новим резултатима и сазнањима о ближим и даљим небеским телима и њиховим сателитима.

ПИТАЊА

1. Којим се методама служимо да бисмо проучавали Земљину унутрашњост?
2. Од чега је састављена и како је подељена Земљина атмосфера?
3. Шта су радијациони појаси?
4. Шта је астрономска рефракција и какве су њене последице?
5. Како можемо израчунати Земљину масу?
6. Шта је јоносфера?
7. Шта је магнетосфера?

ГЛАВА СЕДМА

МЕСЕЦ

Једини Земљин природни сателит је *Месец*. Он је од свих сателита Сунчевом систему најбоље проучен. Месечева маса и димензије су знатне тако да он са Земљом чини тзв. „двојну планету“.

Месец је прво небеско тело које је човек посетио када је успео да се одвоји од Земље.

7. 1. Месечева даљина и права величина. — Месец је једини природни Земљин пратилац — *сателит*. Зато што нам је најближи од свих небеских тела, најбоље га и познајемо. Прва савремена метода за одређивање даљина небеских тела потиче из XVII века од француских академика Лаланда и Лакаја, који су њоме одредили најпре баш даљину Месеца.

Претпоставимо да је Земља лопта и да су из места T_1 и T_2 (сл. 61),

која су што више размакнута и која се налазе приближно на истом меридијану, два посматрача у истом тренутку измерила зенитне даљине z'_1 и z'_2 Месеца када је био у меридијану. Нека су p_1 и p_2 паралаксе, или углови под којима се са Месеца види Земљин полупречник у тачкама T_1 односно T_2 . У четвороуглу GT_1MT_2 знамо углове у теменима G , T_1 и T_2 , па лако можемо израчунати и збир углова p_1 и p_2 :

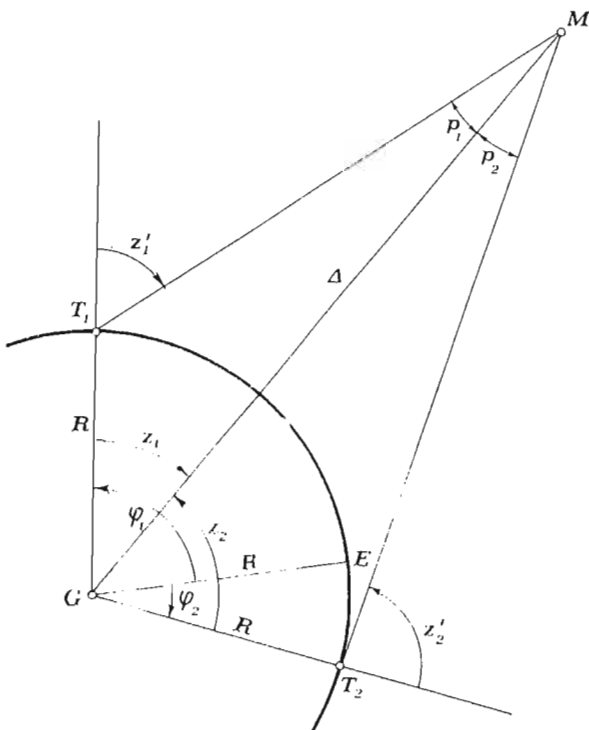
$$p_1 + p_2 = p.$$

Применом синусне теореме на троугле T_1GM и T_2GM добијамо изразе:

$$\sin p_1 = R/\Delta \cdot \sin z_1,$$

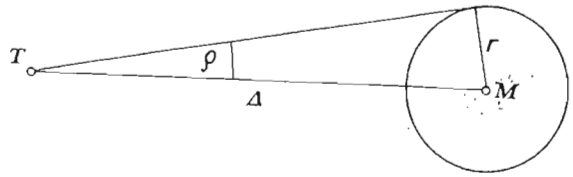
$$\sin p_2 = R/\Delta \cdot \sin z_2.$$

Из последње три једначине могу се добити три непознате p_1 , p_2 и Месечева геоцентрична даљина Δ .



Сл. 61. Одређивање Месечеве даљине

Знајући Δ , ако измеримо Месечев привидни полупречник можемо лако наћи његов прави полупречник r сл. 62): $r = \Delta \sin \rho$.



Сл. 62. Израчунавање правог Месечевог полупречника из измереног привидног

Услед Месечевог кретања око Земље мења се његова даљина (од 365 400 km до 406 700 km) и њена средња вредност износи 60,3 Земљиних полупречника, односно 384 400 km. Његов привидни пречник се мења у границама од 29'28'' до 33'21'', са средњом вредношћу од 31'25''. Његов прави полупречник износи 1738,2 km, или 3/11 Земљиног полупречника. Одатле је Месечева површина 1/13 Земљине, а запремина само 1/80 Земљине. Месечева маса износи само 1/81 Земљине масе; ако масу поделимо запремином, за просечну Месечеву густину добијамо износ 3,3 g/cm³, дакле само 3/5 Земљине просечне густине.

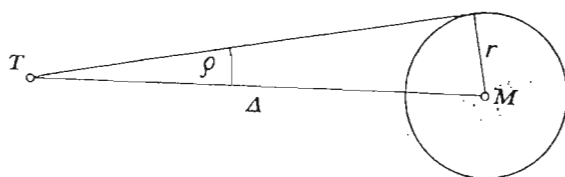
7.2. Привидно Месечев кретање око Земље. — Привидно Месечев кретање око Земље може се изучити, као и Сунчево, ако се довољно често одређују Месечеве екваторске координате α_{ζ} , δ_{ζ} Ректасцензија се одређује из тренутка Месечевог пролаза кроз меридијан, а деклинација из његове мерене зенитске даљине у меридијану, као и за Сунце. Са њих се, затим, рачунски пређе на Месечеве еклиптичке координате λ_{ζ} β_{ζ} . Ми ћемо узети ове координате, као и још неке податке који ће нам мало касније затребати, из астрономских годишњака за мај 1974, и то за сваки трећи датум. Ти подаци су Месечев привидни полупречник и Месечеве поларне координате L_{ζ} и d_{ζ} у равни путање.

Таблица 2

Датум	λ_{ζ}	β_{ζ}	R_{ζ}	L_{ζ}	d_{ζ}
1	152°20'	4°56'	16'02''9	149°50'	1.032
4	193 53	—4 44	15 45.2	189 22	1.013
7	233 13	—2 17	15 19.5	228 54	0.968
10	270 53	+1 01	14 55.5	268 25	0.960
13	306 37	3 50	14 46.6	307 57	0.950
16	342 39	5 12	15 01.4	347 29	0.966
19	20 57	4 28	15 36.4	27 00	1.004
22	62 26	1 32	16 11.6	66 32	1.041
25	105 56	2 22	16 22.6	106 04	1.053
28	149 09	4 56	16 07.1	145 36	1.037
31	190 34	4 55	15 41.6	185 08	1.009

Сви ови подаци се из месеца у месец периодично понављају. Ако координате λ_{ζ} , β_{ζ} нанесемо на Декартов координатни систем, добићемо једну синусоиду. Ако савијемо цртеж у кружни цилиндар тако да се

Знајући Δ , ако измеримо Месечев привидни полупречник можемо лако наћи његов прави полупречник r сл. 62): $r = \Delta \sin \rho$.



Сл. 62. Израчунавање правог Месечевог полупречника из измереног привидног

Услед Месечевог кретања око Земље мења се његова даљина (од 365 400 km до 406 700 km) и њена средња вредност износи 60,3 Земљиних полупречника,

односно 384 400 km. Његов привидни пречник се мења у границама од 29'28'' до 33'21'', са средњом вредношћу од 31'25''. Његов прави полупречник износи 1738,2 km, или 3/11 Земљиног полупречника. Одатле је Месечева површина 1/13 Земљине, а запремина само 1/80 Земљине. Месечева маса износи само 1/81 Земљине масе; ако масу поделимо запремином, за просечну Месечеву густину добијамо износ 3,3 g/cm³, дакле само 3/5 Земљине просечне густине.

7.2. Привидно Месечево кретање око Земље. — Привидно Месечево кретање око Земље може се изучити, као и Сунчево, ако се довољно често одређују Месечеве екваторске координате α_{ζ} , δ_{ζ} Ректасцензија се одређује из тренутка Месечевог пролаза кроз меридијан, а деклинација из његове мерене зенитске даљине у меридијану, као и за Сунце. Са њих се, затим, рачунски пређе на Месечеве еклиптичке координате λ_{ζ} β_{ζ} . Ми ћемо узети ове координате, као и још неке податке који ће нам мало касније затребати, из астрономских годишњака за мај 1974, и то за сваки трећи датум. Ти подаци су Месечев привидни полупречник и Месечеве поларне координате L_{ζ} и d_{ζ} у равни путање.

Таблица 2

Датум	λ_{ζ}	β_{ζ}	R_{ζ}	L_{ζ}	d_{ζ}
1	152°20'	4°56'	16'02''9	149°50'	1.032
4	193 53	-4 44	15 45.2	189 22	1.013
7	233 13	-2 17	15 19.5	228 54	0.968
10	270 53	+1 01	14 55.5	268 25	0.960
13	306 37	3 50	14 46.6	307 57	0.950
16	342 39	5 12	15 01.4	347 29	0.966
19	20 57	4 28	15 36.4	27 00	1.004
22	62 26	1 32	16 11.6	66 32	1.041
25	105 56	2 22	16 22.6	106 04	1.053
28	149 09	4 56	16 07.1	145 36	1.037
31	190 34	4 55	15 41.6	185 08	1.009

Сви ови подаци се из месеца у месец периодично понављају. Ако координате λ_{ζ} , β_{ζ} нанесемо на Декартов координатни систем, добићемо једну синусоиду. Ако савијемо цртеж у кружни цилиндар тако да се

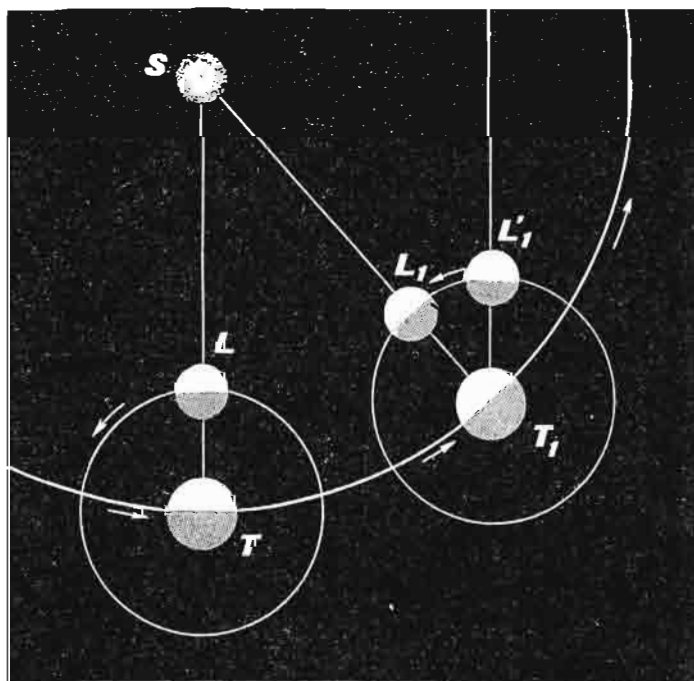
додирну почетна и завршна тачка синусоидног таласа, па овај цилиндар навучемо на звездани глобус тако да се велики круг настао од апсцисне осовине поклопи са еклиптиком, видећемо да ће се за *привидну Месечеву путању* на небеској сфери добити такође један велики круг, чија раван пролази кроз Земљино средиште и који је нагнут према еклиптици за $i = 5^{\circ}9'$. Он сече еклиптику у двама супротним тачкама Ω и Υ .

У првој тачки Месец у свом директном кретању прелази с јужне на северну небеску хемисферу и она се назива *узлазни чвор Месечеве путање*. У другој Месец прелази са северне на јужну хемисферу и она се назива *силазни чвор Месечеве путање*.

Временски размак у коме Месечева лонгитуда прирасте за 360° и Месец се врати у исти положај према звездама назива се *сидерички*²⁸ *месец* (S), а размак у коме се врати у исти положај према Сунцу назива се *синодички*²⁹ *месец* (C), који је и период Месечевих мена. Њихова трајања износе:

$$S = 27^{\text{d}}, 321\ 6610 = 27^{\text{d}}7^{\text{h}}43^{\text{m}}11^{\text{s}},5,$$

$$C = 29^{\text{d}},530\ 5882 = 29^{\text{d}}12^{\text{h}}44^{\text{m}}2^{\text{s}},8.$$



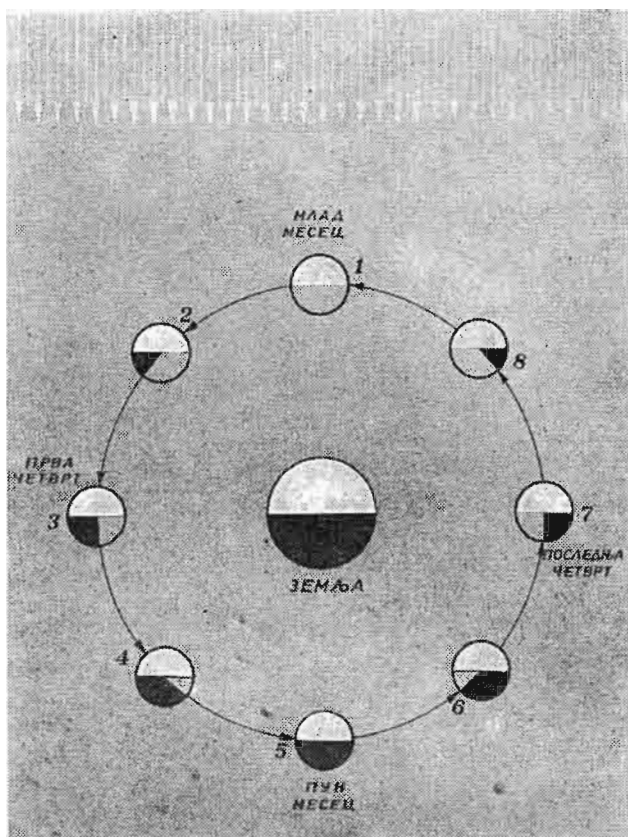
Сл. 63. Објашњење разлике у трајању сидеричког и синодичког месеца

Ево зашто се они разликују по трајању. Претпоставимо да је у једном тренутку Месец имао једнаку лонгитуду са Сунцем и да се после 27,321... средњих сунчаних дана вратио у исти положај према звездама. Како се за то време Сунце привидно померило према истоку за око 27° , то после истека овог времена Месец неће бити у истом положају и према Сунцу. Биће му потребно још неко време да га стигне. Како Месец прелази просечно дневно по 13° на својој привидној путањи, а Сунце око 1° , то Месец за један дан стигне Сунце за 12° , па му за

27,321... дана треба приближно $27/12$ дана, или 2,25 дана, да се врати у исти положај и према Сунцу. Тачнији износ ове разлике је 2,209 средњих дана. Геометријско објашњење дато је на сл. 63.

²⁸ Од латинске речи *sidus* = звезда.

²⁹ Од грчке речи *синодос* = састанак.



Сл. 65. Месечеве мене

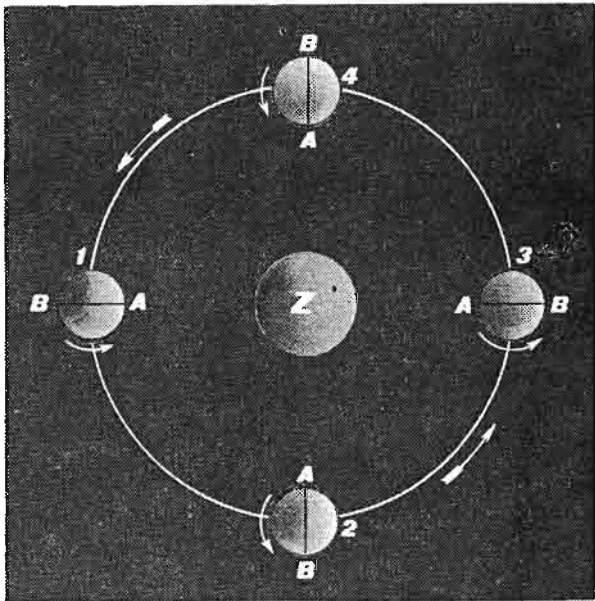
после истека синодичког месеца врати у младину, постане опет невидљив.

За време младине Месечева геоцентрична лонгитуда је једнака Сунчевој; каже се да је он у *конјункцији* са Сунцем. Кад је у уштапу, његова се лонгитуда разликује за 180° од Сунчеве; каже се да је он у *опозицији* са Сунцем. У првој и последњој четврти његова се геоцентрична лонгитуда разликује од Сунчеве за $\pm 90^\circ$; каже се да је у *квадатурама*.

7.5. Месечеве обртно кретање (ротација). — Знамо да облици Месечеве површине (мора, планине, кратери...) практично не мењају свој положај на Месечевом привидном котуру. Ово се може објаснити само *једнакошћу трајања његовог обртања (ротације) и обилажења око Земље (револуције)*, што очигледно показује сл. 66. Када се Месец на својој путањи помери из положаја 1 у 2 за четврт круга, ако за исто време изврши и четвртину ротације, тачка А на његовој површини, која се налази на линији Земља—Месец ZA_1 , остаће у истом положају на Месечевом котуру, тј. налазиће се сада на линији ZA_2 , итд.

Узрок *једнакости времена ротације и револуције налази се у плимском трењу*. Још у раним фазама Месечеве еволуције Земљина маса је својим привлачењем изазивала на њему велика плимска испупчења и то како на страни окренутој Земљи, тако и на супротној страни. Рачуни су показали да ови плимски брегови износе око 3 km, или 0,001 Месечевог пречника. Услед трења међу Месечевим делићима плимски брегови се нису могли тренутно издићи, већ су се издизали поступно. Зато, док је брег окренут Земљи успео да се уздигне, ова тачка је услед Месечеве ротације, већ прошла линију Земља—Месец. Плимски брегови се, дакле, нису образовали на овој линији, већ нешто даље од ње. Зато је Земљина привлачна сила, делујући јаче на ближи но на даљи плимски брег, тежила да их врати на линију Земља—Месец насупрот Месе-

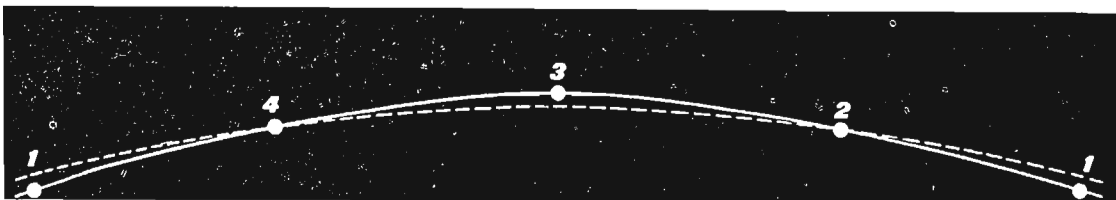
Млад месец излази ујутро и залази увече, заједно са Сунцем. Тек кад достигне старост од 2 дана, Месец постане видљив као танак срп с вечери, на западу, чија је испупчена страна окренута десно, ка Сунцу. Када је десна половина Месечевог котура осветљена, каже се да је Месец у *првој четврти* (сл. 65). Тада он излази у подне, а залази око поноћи. Када је цео Месечев котур осветљен, та се мена назива *пун месец* (сл. 65), или *уштап*. Он излази увече, а залази ујутро. Кад је лева Месечева половина осветљена, каже се да је Месец у *последњој четврти* (сл. 65). Тада он излази око поноћи, а залази у подне. Два дана пред младину види се као танак срп окренут левом, испупченом страном Сунцу. Најзад, кад се



Сл. 66. Објашњење једнаког трајања Месечевог обртања и обилажења око Земље (ротације и револуције)

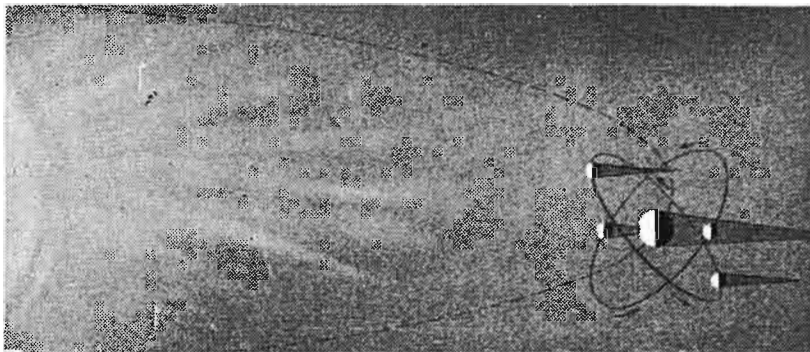
чевом обртању. Изазвала је плимско трење и деловала као кочница Месечеве ротације све док се времена ротације и револуције нису међу собом изједначила, а Месечево издужење, или велика оса његовог елипсоида, није остала у правцу Земље.

7.6. Месечева путања у односу на Сунце. — Месечеву путању у односу на Сунце лако ћемо конструисати ако знамо да је Месец око 400 пута даљи од Сунца него од Земље и да се на путањи око Земље креће приближно 12 пута већом средњом угловном брзином него Земља око Сунца. Ако узмемо, напр., размеру у којој је Земљина даљина од Сунца око 2 m и нанесемо Месечеве положаје према Земљиној путањи за сваких 7 дана, онда ће Месечева путања у односу на Сунце изгледати као непрекидана крива (сл. 67). Та путања, дакле веома мало одступа од Земљине путање око Сунца и увек је окренута Сунцу својом конкавном (издубљеном) страном.



Сл. 67. Месечева путања у односу на Сунце (непрекидана крива); Земљина путања око Сунца (испрекидана крива)

7.7. Месечева и Сунчева помрачења. — Месец и Земља, као лоптаста тамна тела обасјана Сунцем, бацају, супротно од Сунца, сенке конусног облика; Земља знатно већу и дужу но Месец.



Сл. 68. Механизам Месечевих и Сунчевих помрачења

Месец обилазећи око Земље може, под извесним условима, о којима ће се говорити касније, ући делимично или потпуно у Земљину сенку (сл. 68). У тим случајевима наступа *делимично* односно *потпуно*

но Месечево помрачење. Исто то се може догодити и са сателитима осталих планета. Појава је права, јер Месец тоне у Земљину сенку и сва места на Земљи, за која је тада Месец изнад хоризонта, виде у истом физичком тренутку Месечево помрачење.

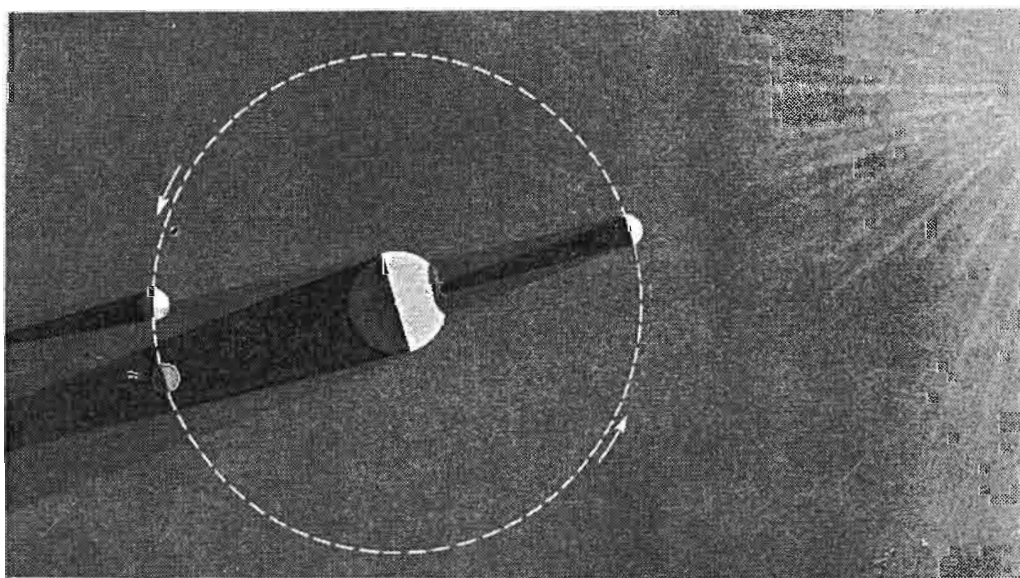
Месец, обилазећи око Земље, може доћи у положај да на Земљу баца сенку (сл. 69). За она места на Земљи која су у том тренутку у његовој сенци наступа Сунчево помрачење. Који су услови потребни и довољни да се оно догоди за једно место на Земљи објаснићемо касније. Сунчево помрачење може бити исто тако делимично или потпуно, но видећемо да оно може бити и прстенасто. Сунчево помрачење се може видети у одређеним условима и са других планета око којих обилазе сателити. Помрачење Сунца је привидна појава, јер Месец постављајући се између Земље и Сунца не утапа Сунце у своју сенку, већ га само својим котуром привидно заклања, делимично или у целини, за извесна места на Земљи.

1° Месечева помрачења. Да би наступило Месечево помрачење, морају бити испуњена ова три услова:

1) Месец се мора налазити супротно од Сунца у односу на Земљу, тачније у опозицији са Сунцем (пун месец).

2) Дужина Земљине сенке мора да буде већа него што је Месечева даљина.

3) Месечево угловно удаљење од еклиптике мора да буде мање од полупречника Земљине сенке где у њу улази Месец. Може се рачунски показати да потпуно Месечево помрачење наступа кад је Месечева латитуда $\beta_{\zeta} < 0^{\circ}21'$; да делимично помрачење наступа кад му је латитуда $0^{\circ}31' < \beta_{\zeta} < 1^{\circ}0'$ и да помрачење не наступа кад је Месечева латитуда у опозицији $\beta_{\zeta} > 1^{\circ}0'$, јер Месец тада пролази изнад или испод Земљине сенке.



Сл. 69. Месечева и Сунчева помрачења

Ако су испуњени услови за помрачење, Месец ће на својој путањи око Земље (сл. 69) ући најпре у простор тзв. *Земљине полусенке*, који је ограничен унутрашњим заједничким тангентама Сунца и Земље. За време бављења у полусенци Месец не мења приметно боју. Тек кад наиђе на ивицу сенке, његова источна ивица почиње да се крњи — почиње делимично помрачење Месеца. Што више улази у Земљину сенку, тамни део Месечевог котура све више се повећава и кад и његова западна ивица доспе на ивицу сенке, цео котур утоне у њу. Тада почиње потпуно помрачење Месеца. Оно траје обично око 1^h30^m . Затим се истим редом догађа Месечев излаз из сенке на њеној супротној ивици. Цело помрачење, од првог до последњег додира са ивицом Земљине сенке, може трајати и око 4^h .

За време потпуног помрачења Месец има тамну бакарну боју зато што је осветљен ивичним зрацима Сунца, који се ломе кроз Земљину атмосферу и делимично улазе у простор Земљине сенке. Боја је црвенкаста због присуства ситних капљица воде и честица прашине у Земљиној атмосфери, од којих се плави и други зраци краће таласне дужине одбијају, али их црвени зраци дужих таласних дужина могу обићи и доспети у наше око. Баш као у случају јутарњег и вечерњег руменила неба.

Месечева помрачења, због тога што наступају у истом тренутку за све тачке са којих се види Месец, служила су раније за одређивање разлика географских дужина тих тачака. Данас су нађене много тачније методе. Данас Месечева помрачења служе највише за испитивање горњих слојева Земљине атмосфере.

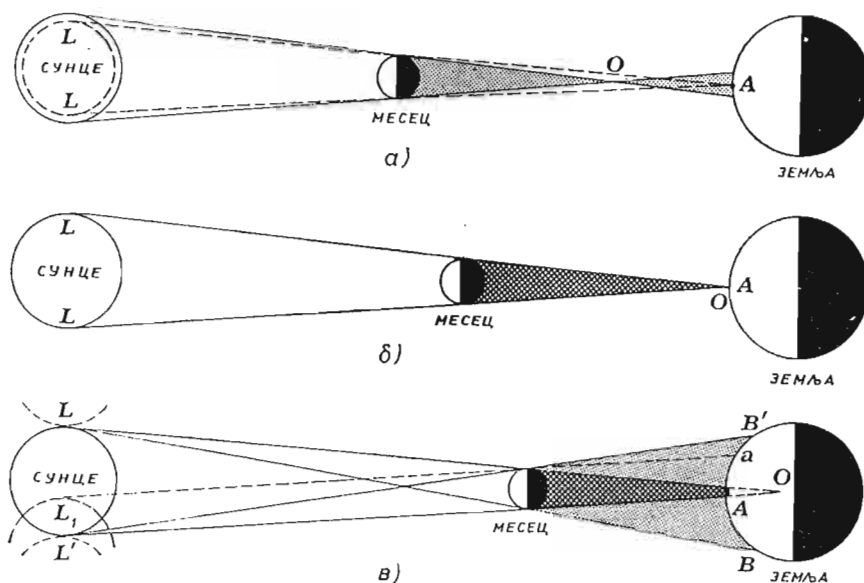
Приближни тренуци појединих додира дати су за посматраче у астрономским годишњацима (код нас у астрономском часопису „Васиона“).

2° *Сунчева помрачења*. Да би наступило Сунчево помрачење, морају бити испуњена ова три услова:

1) Месец се мора налазити између Земље и Сунца, тачније у конјункцији са Сунцем (млад месец).

2) Дужина Месечеве сенке у том тренутку мора бити већа од Месечеве даљине. Дужина Месечеве сенке може се лако израчунати. Она се креће од 57,4 до 59,3 Земљиних полупречника, а може бити мања, једнака или већа од Месечеве даљине, због елиптичности Месечеве путање око Земље (сл. 70). У првом случају, када Месечева сенка не допире до Земље, Месечев котур не може да покрије цело Сунце, већ само његов централни део, наступа прстенасто помрачење Сунца (сл. 71а). У другом случају, када Месечева сенка само додирује Земљу (сл. 71б) види се потпуно помрачење Сунца само са једне линије на Земљи коју описује по њој врх сенке. У трећем случају (сл. 71в), Земља засеца конус Месечеве сенке (сл. 71в) и потпуно помрачење види се из једне мале елипсе на Земљиној површини, која у току времена, са Месечевим кретањем, описује један појас (*појас потпуног помрачења*) који на Земљи не прелази никад ширину од 260 km. Изван овога појаса, са површине коју покрива Месечева полусенка (појас широк до

400 km) види се делимично помрачење Сунца; то је Сунчев котур који је утолико мање заклоњен (мања је фаза помрачења) уколико је место даље од појаса потпуног помрачења.



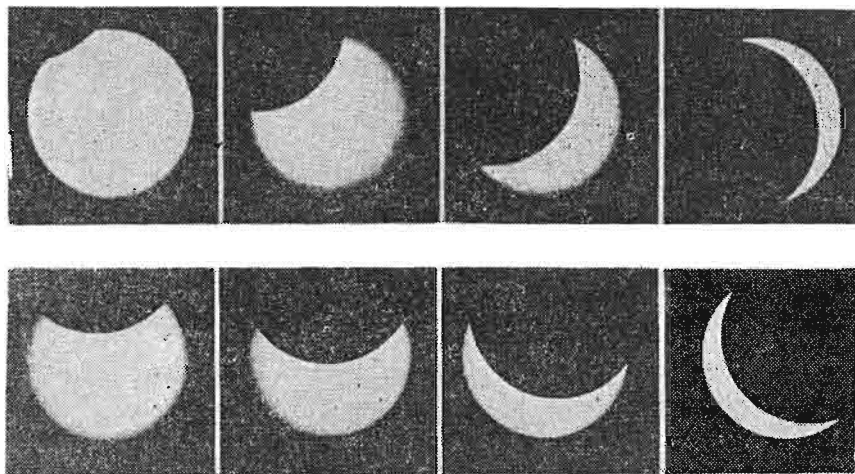
Сл. 70. Три врсте Сунчевих помрачења

3) Да би наступило Сунчево помрачење, мора бити испуњен и услов да је Месечево угловно удаљење од равни еклиптике у том тренутку мање од полупречника његове сенке. Може се рачунски показати да потпуно помрачење настаје ако је Месечева латитуда у тренутку његове конјункције $\beta_{\zeta} < 53'$. Ако је $63' < \beta_{\zeta} < 84'$, сигурно настаје делимично помрачење. Ако је $\beta_{\zeta} > 92'$, нема помрачења, Месец пролази изнад или испод Сунца.

Ако су сви услови за Сунчево помрачење испуњени и ако је оно у том тренутку изнад хоризонта, наилазак Месечеве полусенке приметимо једва осетним смањењем Сунчеве светлости. Први привидни додир Месечевог и Сунчевог котура означава почетак делимичног помрачења. Сунчев котур се затим на свом западном рубу све више крњи (сл. 71), јер тамни Месечев котур све више заклања Сунце. Кад га сасвим покрије, почиње потпуно помрачење: по Земљи одједном настане сутон, на небу се појаве сјајне звезде и планете, око покривеног Сунчевог котура засија црвенкасти прстен Сунчеве атмосфере (хромосфера) с циновским ерупцијама (протуберанцама), а даље око Сунца блиста седефастим сјајем Сунчева висока атмосфера (корона). Потпуно помрачење траје највише 7^m , а најчешће до 2^m , па се на источном рубу појави поново први Сунчев зрак. Сад се наставља делимично помрачење. Помрачени део Сунчевог котура све више се смањује, па се заврши са последњим привидним додиром Сунчевог и Месечевог котура. Тада се и делимично помрачење завршава.

Тренуци додиром и други услови помрачења објављују се у астрономским годишњацима. Потпуна Сунчева помрачења се врло ретко виде са исте тачке на Земљи. Из наших крајева последње се видело 15. II 1961. год., а прво следеће биће 11. VIII 1999. године.

Док нису упознали механизам помрачења, људи су се ових појава плашили и тумачили их као „зле предзнаке“. Данас се Сунчева помрачења користе за многе сврхе у науци, на пример: за одређивање поправака Месечевих координата и елемената његове путање, за изучавање Сунчеве хромосфере и короне и др.



Сл. 71. Изглед Сунца у току његовог делимичног помрачења

3° Сарос. Из претходних излагања произилази да помрачења наступају кад се Сунце и Месец нађу у близини једног од чворова Месечеве путање. Како постоје два чвора Месечеве путање, а Сунце обиђе целу еклиптику за годину дана, то очигледно постоје у години два периода (у размаку од 6 месеца) када се могу догађати помрачења. Подробни рачун показује да се сваке године морају догодити 2—5 Сунчевих помрачења. Месечевих може бити највише три, а може их и уопште не бити. Најчешће се догађају 2 Сунчева и 2 Месечева помрачења.

Још су стари народи пронашли циклус од 18 година и $10\frac{1}{3}$ дана у коме се помрачења понављају истим редом и користили га за предвиђање помрачења. Овај циклус Египћани су назвали сарос, по египатској речи која значи понављање. Он не представља ништа друго до најмањи број дана који садржи цео број синодичких месеца и цео број драконитичких месеца, цео број периода у којима се понављају Месечеве мене (29,53059 дана) и цео број периода у којима се Месец враћа у исти чвор (27,21 222 дана).

Чворови Месечеве путање клизе полако по еклиптици у ретроградном смеру, па се зато свако помрачење у саросу догађа 10 дана касније по календару него пре 18 година.

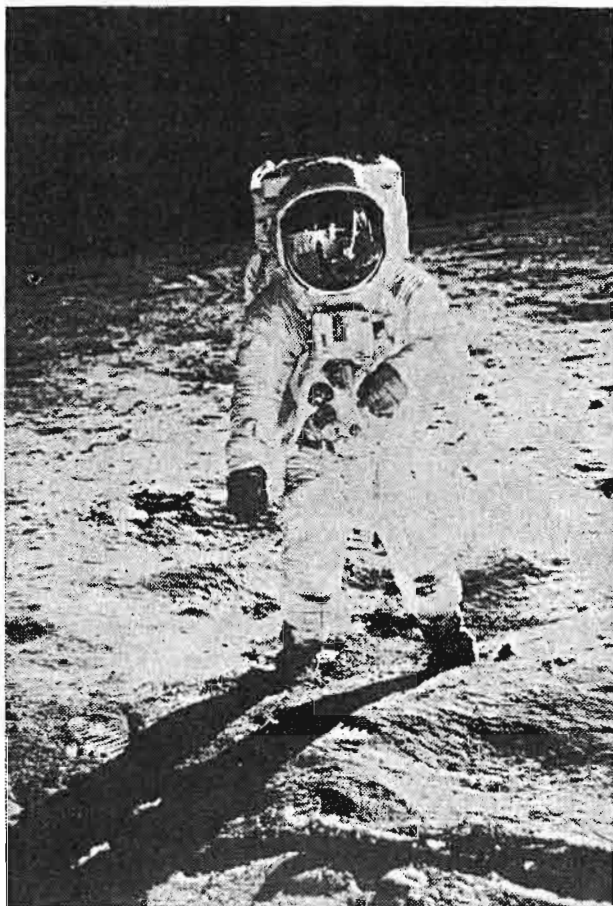
7. 8. Карактеристике Месечеве површине. — Помоћу совјетских и америчких летилица остварено је оно што је пре десет година изгледало као далека и неизвесна могућност. Узорци са Месечеве површине донети су на Земљу да би се испитали свим техникама којима располажу модерне лабораторије. Ови узорци ће омогућити да нешто сазнамо о пореклу и еволуцији Месеца, а можда нешто и о раној историји Земље и Сунчевог система.

Од ових догађаја у драматичној борби за освајање Месеца требало би да запамтимо ова три:

— 7. X 1959. год. „Луњик III“ је први пут снимио невидљиву страну Месеца;

— 3. II 1966. год. „Луњик IV“ је извршио прво „меко“ спуштање на Месец без људске посаде.

— 21. VII 1969. год. помоћу „Апола XI“ извршено је прво искрцавање људи на Месец (сл. 72).



Сл. 72. Нил Армстронг, први човек на Месецу

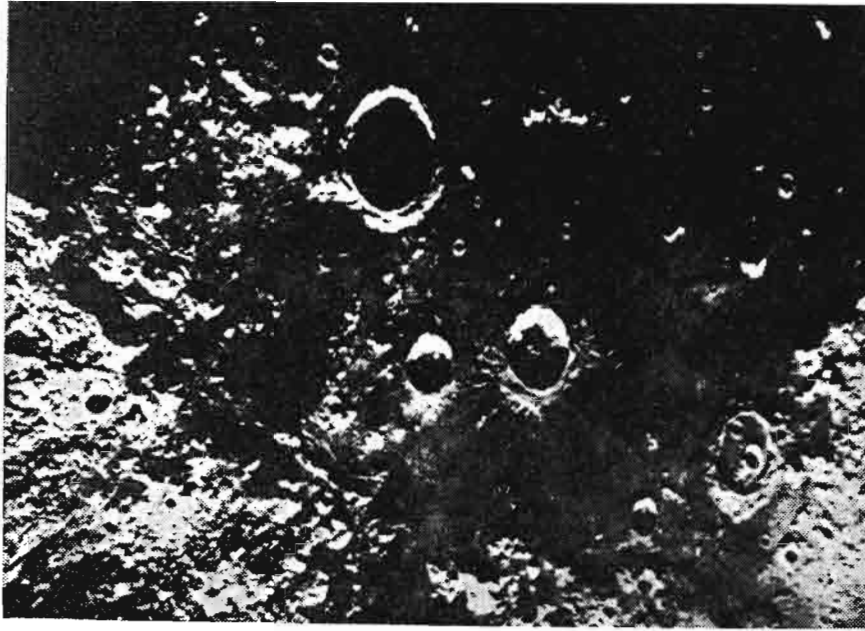
светлост бива расејана Месечевом атмосфером. Није запажено светљење метеора у Месечевој атмосфери. Сенке рељефа су врло оштре и тамне и најзад, оштра граница између дана и ноћи, која се назива *терминатор*, такође иде у прилог претпоставци да Месец нема атмосферу.

После директних испитивања Месеца неке раније усвојене претпоставке су заиста добиле своју потврду, али неке су морале да буду исправљене. Потврђено је да Месец нема атмосферу. Разлог је његова мала маса, односно мала гравитација. Брзина напуштања Месечеве површине је свега 2,4 km/s, односно једна петина брзине којом тела напуштају Земљу (детаљније о томе видети у 8. 10). То значи да атмосферски гасови и при релативно ниским температурама имају довољну брзину да напусте Месец.

Месечева „мора“ су карактеристичне тамне површине које се виде и голим оком, а представљају сува пространа поља без воде, испуњена лавом и покривена реголитом.

Затим је настала серија успешног искрцавања људи на Месец помоћу „Апола“ XI, XII, XIV, XV, XVI и XVII, као и спуштање аутоматске станице типа „Луна“.

Још пре искрцавања људи на Месец постојале су доста детаљне карте које су добијене помоћу најјачих земаљских телескопа, као и оне снимљене из балона (сл. 75). На овим картама се разликују следећи детаљи: „мора“, циркови, или кратери, планински венци, риле и светли зраци. Одавно се претпостављало да Месец нема атмосферу. За такво веровање (које је касније потврђено) постојало је више разлога. Пре свега, никада се није запазила Месечева атмосфера оптичким методама. Окултације (покривања) звезда Месечевим диском врше се скоро тренутно, а не онако како би се дешавало да



Сл. 73. Месечева површина

Раније веровање да је Месечева површина покривена тврдом, испуцаном и храпавом кором показало се као нетачно. Непрекидно бомбардовање метеоритима измрвило је тврду Месечеву подлогу у шљунак, песак и прашину. На тај начин се образовао растресит површински слој, назван *реголит*. Тек испод овог слоја налази се чврста Месечева кора. Површински слој реголита је ситна прашина на којој су космонаути обућом оставили траг своје шетње по Месецу (сл. 74).

Такве површине су лоши рефлектори и због тога нам „мора“ изгледају тамна. Уопште Месец има мали *алbedo*³², свега 7⁰/₁₀, док Венера, на пример, има десет пута већи. Ове површине назване су „морима“ (*Море Киша, Океан Бура, Море Облака* и др.) још у XVII веку, кад се о њима врло мало знало, па је због традиције назив сачуван и до данас.

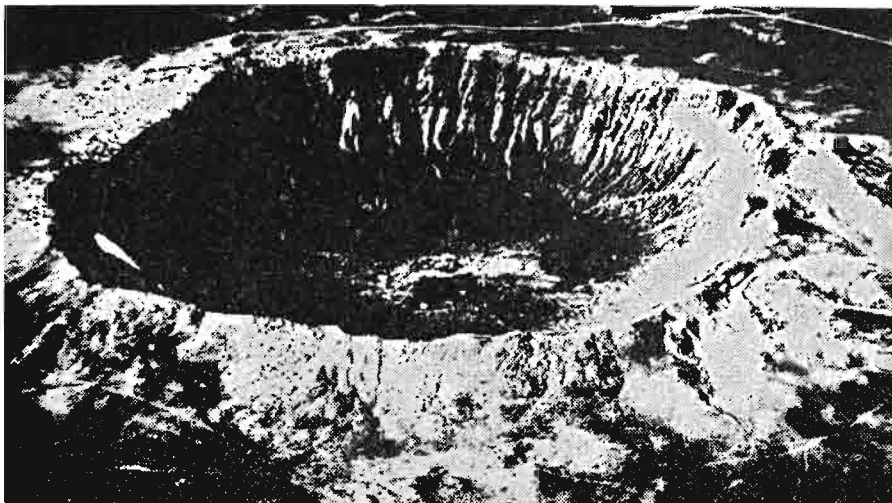
Кратери или циркови, су прстенасте планине које окружују површине, мањег или већег пречника (сл. 75). Стрмији ка унутрашњој страни, ови кружни гребени достижу висину и до 6 000 m. Подела на кратере и циркове има условни карактер. Мањи су кратери, а већи циркови. Они представљају типичан облик Месечевог рељефа који се на



Сл. 74. Траг обуће астронаута на Месечевој површини

³² Алbedo = количина одбијене према количини упадне светлости.

Земљи ретко среће. Најбоље сачувани кратери имају скоро кружни облик, често са конусним узвишењем у центру. Постоје области потпуно покривене кратерима. Јасно се види како су млађи кратери делимично разрушили старије.

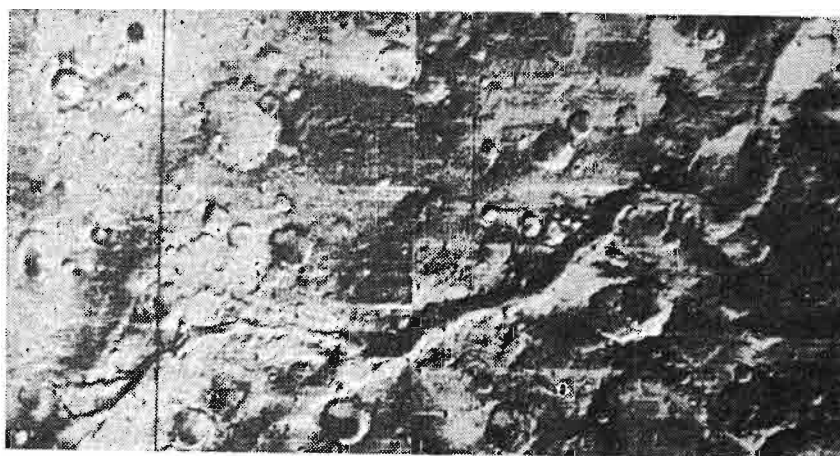


Сл. 75. Кратер

Имена су добили по знаменитим људима, углавном астрономима, али и славним филозофима и научницима (*Аристарх, Тихо, Кеплер, Коперник, Платон, Ломоносов*, итд.). Четири кратера добила су имена по нашим научницима (*Бошковић, Мохоровичић и Тесла Миланковић*).

О пореклу Месечевих кратера вођена је дуга полемика. Данас се сматра да су неки од њих настали „геолошким“ процесима, односно вулканском активношћу, док је за друге највероватније да су настали ударима метеорита разних димензија који су, због одсуства Месечеве атмосфере, великом брзином падали и разарали Месечеву површину. Тако су измирене ове две супарничке хипотезе.

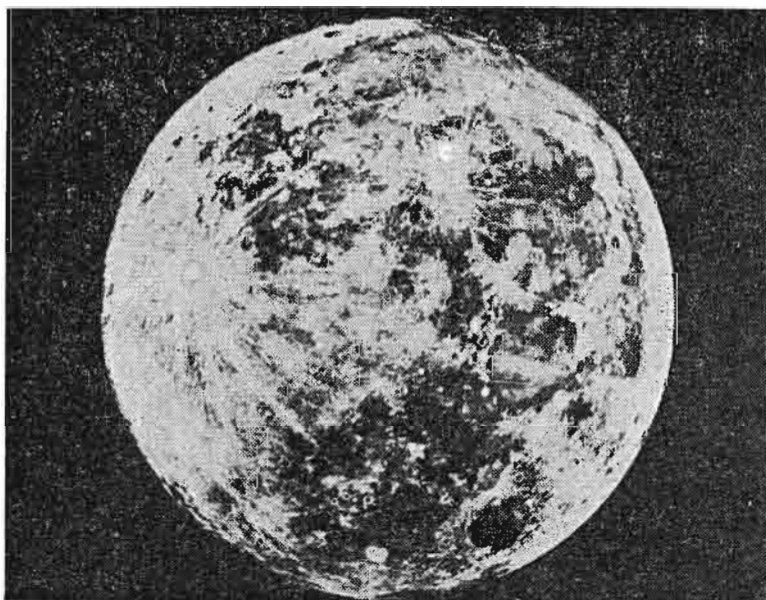
Планински венци нису многобројни. Они се простиру на стотине километара обично дуж „мора“, према којима су окренути својом стрмијом страном. Називе носе као и планине на Земљи: *Алпи, Кавказ, Апенини* и др. Снимци са Апола XV показују слојевитост структура неких планинских венаца.



Сл. 76. Риле

Риле, или цукотине, су тамне таласасте линије, које представљају суве кањоне, дубоке око стотину метара, а дуге неколико десетина километара. На Месечевој површини има их неколико стотина (сл. 76). Пошто не показују постојање притока, што би се очекивало да су настале ерозијом, онда је највероватније објашњење да су риле настале пуцањем Месечеве коре у процесу хлађења или да су то корита којима је текла лава.

Светли зраци се нарочито добро виде при пуном Месецу. Они се од неких кратера шире у свим правцима. Нарочито се далеко простиру зраци од кратера Тихо (сл. 77), пресецајући на своме путу мора и дубоке циркове не мењајући при томе правац. За сада се о њиховом пореклу мало зна.



Сл. 77. Светли зраци око кратера Тихо

7.9. Месечеве физичке особине. — На Месецу нема ни атмосфере ни воде. Због одсуства атмосфере Месечево небо је безбојно. Током дуге ноћи, која траје 354 часа, види се црно небо посуто звездама. Ова ноћ тренутно престаје са изласком блештавог Сунца. Тако почиње Месечев дан који траје 354 часа, или 15 земаљских дана. Нема, дакле, постепеног преласка ноћи у дан. Нема сутона и нема зоре.

Последица растресите Месечеве површине је мала *топлотна инерција* тла, односно нагла промена температуре између дана и ноћи. Максималне температуре су око $+120^{\circ}\text{C}$, а минималне око -150°C . Тек на дубини преко 1 m испод Месечеве површине температура остаје скоро стална, око -50°C , што поткрепљује мишљење да се Месечева површина не загрева много из унутрашњости.

Проучавање узорака донетих са Месеца показало је, неочекивано, да преко 50% Месчевог тла чини — стакло! Овај изненађујући податак има врло једноставно објашњење. Чести метеоритски удари топили су честице минерала Месечеве површине производећи стакло. Сталном „прерадом“ површинског Месчевог слоја проценат стакла се

непрекидно повећава. Остала испитивања тла нису донела већа изненађења. Месечева „мора“ су покривена иситњеним материјалом базалтних стена, док су планински предели покривени магматским стенама. Месечеве стене садрже веће количине ретких елемената него земаљске, и то нарочито: хрома, титана, уранијума и торијума. На супрот томе, оне имају мању количину олова, бизмута, натријума и калијума, којима обилују земаљске стене. Једини нов минерал који је откривен на Месецу назван је *армалколит*, према именима тројице космонаута из Апола XI (*Армстронг, Олдрин и Колинс*).

Средња густина целог Месеца је $\rho_{\text{C}} = 3,34 \text{ gcm}^{-3}$. Испитивање је показало да узорци узети са планинских предела имају мању густину него узорци из „мора“. Утврђено је да се испод неких „мора“ налазе локалитети знатне густине, који су названи *маскони* (концентрација маса). Одмах се поставља питање структуре Месечеве унутрашњости. Многи научници верују да Месец нема растопљено језгро као Земља и да га вероватно никада није ни имао. Да јесте, то језгро би садржало најтеже елементе, па би била знатно већа разлика у густини Месечеве коре и целог Месеца. Како то није случај, претпоставља се да је Месечева унутрашњост релативно хомогена. Ипак, овај закључак треба примити за сада са извесном резервом.

На површини нема биолошке органске материје. Најновија испитивања су показала да на Месецу нема ни најпримитивнијих облика живота.

Узорци стена са Месечеве површине показују старост од 3,7 до 4,7 милијарди година. Међутим, најстарије стене у Земљиној кори добиле су кристалну форму пре 3,5 милијарди година. Овај изванредно важан податак указује да су стене на Месецу извршиле кристализацију пре него што је Земља добила чврсту кору. Једна од великих загонетки је и недостатак „мора“ на невидљивој страни Месеца.

Проучавање Месеца је врло интересантно, јер како нема ерозије, ветра и воде, то је он „музеј“ трагова древних догађаја који су на Земљи већ давно уништени.

На основи свега онога што је откривено можемо са сигурношћу да одбацимо претпоставку да су Месец и Земља некад били једно тело. Ова чињеница има изузетан значај за проучавање еволуције нашег планетског система.

ПИТАЊА

1. Како је измерена даљина Месеца?
2. Како се може изучити привидно Месечево кретање око Земље и одредити привидна Месечева путања?
3. Шта је сидерички, а шта синодички месец? Зашто су њихова трајања различита?
4. Које су Месечеве мене и зашто настају?
5. Како се долази до правог Месечевог кретања?
6. Зашто су Месечева ротација и револуција истог трајања?

7. Како изгледа Месечева путања у односу на Сунце?
8. Какву би Земљину мену видео посматрач са Месеца за време младог месеца, а какву за време пуног месеца?
9. Месец у првој четврти види се у меридијану. Колико је било приближно часова зонског времена?
10. Пун месец виђен је у марту у тренутку излаза. Колико је било приближно часова зонског времена?
11. Да ли Месец излази сваки дан?
12. Који су основни облици Месечевог рељефа?
13. Који су најважнији резултати најновијих директних проучавања Месеца?
14. Који су узроци Месечевих и Сунчевих помрачења?
15. Који услови морају бити испуњени да би наступило Месечево помрачење?
16. Колико највише траје Месечево помрачење?
17. Какав је изглед помраченог Месеца?
18. Чему су служила и чему данас служе Месечева помрачења?
19. Који услови морају бити испуњени да би наступило Сунчево помрачење?
20. Колико врста Сунчевих помрачења има и под којим се условима догађају?
21. Како изгледа Сунце у току потпуног Сунчевог помрачења?
22. Како се данас користе Сунчева помрачења?
23. Шта је сарос?
24. Може ли се средина потпуног Месечевог помрачења посматрати у 4^h ујутро по месном времену?
25. Под којим ће условима централно Месечево помрачење најдуже трајати?
26. Може ли се догодити прстенасто помрачење Сунца када се Месец у време тог помрачења налази у перигеју? А у апогеју?
27. Зашто се после периода самерљивости синодичког и драконитичког месеца помрачења понављају истим редом?

ЗАДАЦИ

1. Прва Месечева четврт посматрана је 25. децембра. Колика је била Месечева старост 25 децембра следеће године?
2. Водећи рачуна о нагибу Месечеве путање према еклиптици ($5^{\circ}8'$), одреди границе у којима се мења Месечева деклинација.
3. Водећи рачуна о нагибу Месечеве путање ($5^{\circ}8'$), израчунај највећу Месечеву висину изнад хоризонта Београда ($\varphi = 44^{\circ}48'$).
4. Уловни привидни пречник кратера Коперник на Месецу износи $40''$, а Месечева даљина од Земље $386\ 000\ \text{km}$. Колики је линијски пречник тог кратера?
5. Потпуно Месечево помрачење почело је у Београду у $1^{\text{h}}\ 44^{\text{m}}$, 6 по месном средњем времену. Када то исто помрачење почиње у Љубљани по месном средњем времену? Географска дужина Љубљане према Београду је $1^{\circ}14'50''$ западно.
6. Ако се једне године догодило Месечево помрачење у августу може ли друго Месечево помрачење да се догоди у јулу следеће године? Може ли се догодити у октобру исте године, и ако не може — зашто?
7. Године 1959. била су 2 Сунчева и 2 Месечева помрачења, и то: 13. марта Месечево делимично, 27. марта Сунчево прстенасто, 5. септембра Месечево делимично и 21. септембра Сунчево потпуно. Предвидети када ће се у најскорије време ова помрачења поновити и израчунати када су се већ догађала.

ПОСМАТРАЊА

1. Уз употребу малог астрономског дурбина и Месечеве карте покушај да пронађеш на Месецу сва његова „мора“, планинске венце и маркантније циркове и кратере.

2. Уз употребу малог астрономског дурбина и џепног часовника, чију си поправку одредио из часовних сигнала, покушај да одредиш тренутке једног Месечевог залаза и излаза и да их упоредиш са предвиђеним тренуцима.

3. Одреди преко дана гномоном правац подневачке линије и помоћу два виска материјализуј раван меридијана тог места. Одреди неколико вечери узастопце тренутак Месечевог пролаза кроз тај меридијан и начини разлике ових тренутака. Шта се из њих види?

4. Покушај да снимиш обичним фотографским апаратом (кроз нагарављено стакло као веома таман филтар и употребом филма најмање осетљивости) неколико фаза првог следећег Сунчевог помрачења.

5. Покушај да одредиш, помоћу малог астрономског дурбина и џепног часовника, чију си поправку одредио из часовних сигнала, почетак и свршетак додира већих Месечевих кратера са Земљином сенком.

ГЛАВА ОСМА

ПРИВИДНА И ПРАВА КРЕТАЊА ПЛАНЕТА

8. 1. Птолемејев геоцентрични систем света. — Око 130. године наше ере Птолемеј даје, на основи учења ранијих геоцентричара, а нарочито Аристотела, свој познати геоцентрични систем света, који је четрнаест следећих векова доминирао светом. Овај систем садржи три основна принципа, а то су геоцентричност, кружност и униформност кретања тела у њему. У његовом систему Земљина лопта лебди непокретно у средишту васионе — заједничком средишту осам кристалних сфера, све већих што су даље од Земље, наиме: Месечеве, Меркурове, Венерине Сунчеве, Марсове, Јупитерове, Сатурнове и најзад сфере Звезда. Ових осам сфера учествују заједно, као једна, у униформном обртању око Земље од истока ка западу.

Да би објаснио кретање планета по петљама, Птолемеј је претпоставио да се свака планета креће по малом кругу названом *епицикл*, док се у исто време средиште тог круга креће по кругу већег полупречника (*деференту*) око Земље. Слагање ова два кретања, која се обављају у различитим равнима, даје при посматрању са Земље кретање планета по петљама, час напред, час назад (сл. 78).

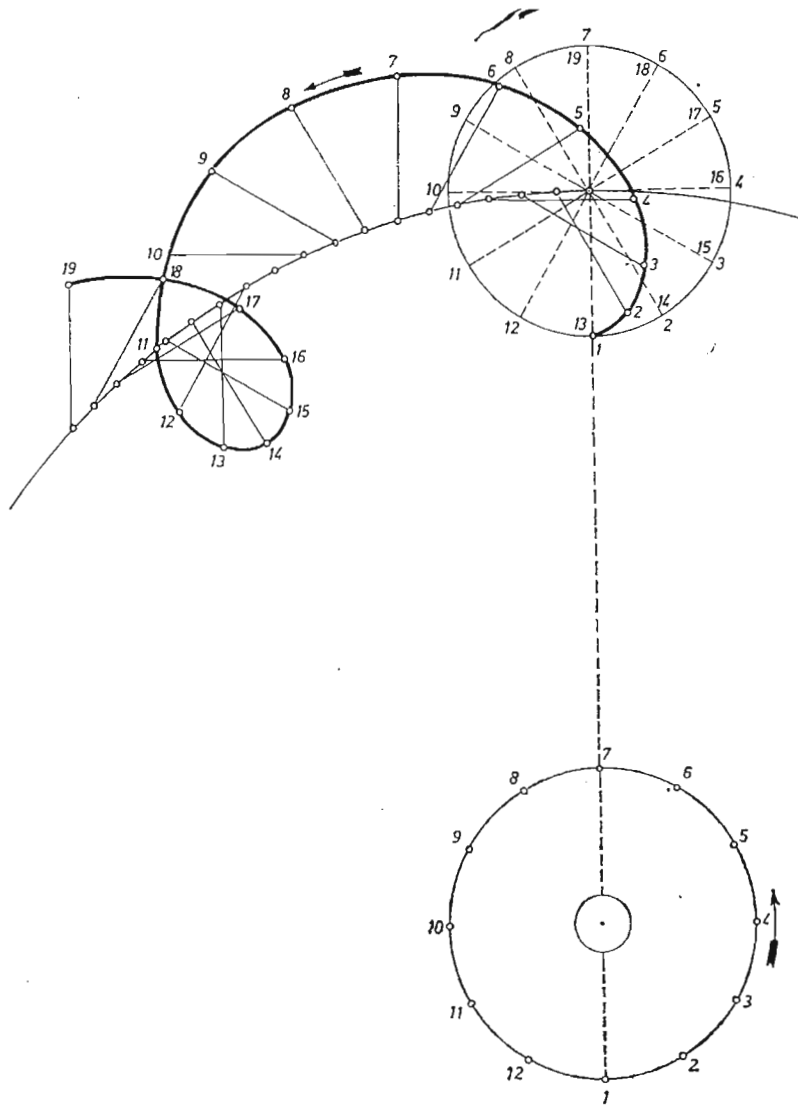
Птолемејеве представе о кретању планета биле су погрешне, али су омогућавале да се израчунају положаји планета на небу и зато су биле корисне. Међутим, овако рачунати положаји планета све су се више разилазили од посматраних (мерених) положаја, па су касније геоцентричари уводили све нове и нове епицикле да би ускладили израчунате са посматраним положајима планета. У XV веку њихов број је толико нарастао да се почело озбиљно сумњати да кретање планета може бити толико компликовано.

8. 2. Коперников хелиоцентрични систем света. — У доба ренесансе стари грчки списи стигли су и до средње Европе, где су преведени на европске језике, тако да је тиме почео да васкрсава Аристархов поглед на свет.

Никола Коперник (1473—1543) (сл. 79) у свом бесмртном делу *De revolutionibus orbium coelestium* (*О кружењима небеских тела*) излаже основе свог хелиоцентричног система света, који с мањим изменама важи и данас.

Не располажући ни једном више чињеницом него што су располагали његови претходници — геоцентричари, наслућује у једностав-

ности хелиоцентричног система његову истинитост и његову неминовност прихвата као своје уверење, дајући само посредне доказе.



Сл. 78. Птолемејево објашњење привидних епицикличних путања планета

Коперников систем је заснован на следећим ставовима:

- 1) Васиона је, као и Земља, сферног облика.
- 2) Кретања небеских тела су сва једнолика (униформна), кружна (или сложена из кружних кретања) и непрекидна (вечна).
- 3) Сва се кружна кретања обављају око Сунца, које је средиште свију њих.
- 4) Даљина Земље од Сунца занемарљива је у односу на полупречник васионе.
- 5) Привидно кретање васионе последица је Земљиног дневног обртања око њене непроменљиве осе.
- 6) Привидно Сунчево кретање је последица Земљиног кретања око Сунца које свака планета обавља.



Сл. 79. Никола Коперник

7) Привидна „лутања“ планета по петљама последица су Земљиног кретања којим се и објашњавају сва привидна кретања небеских тела.

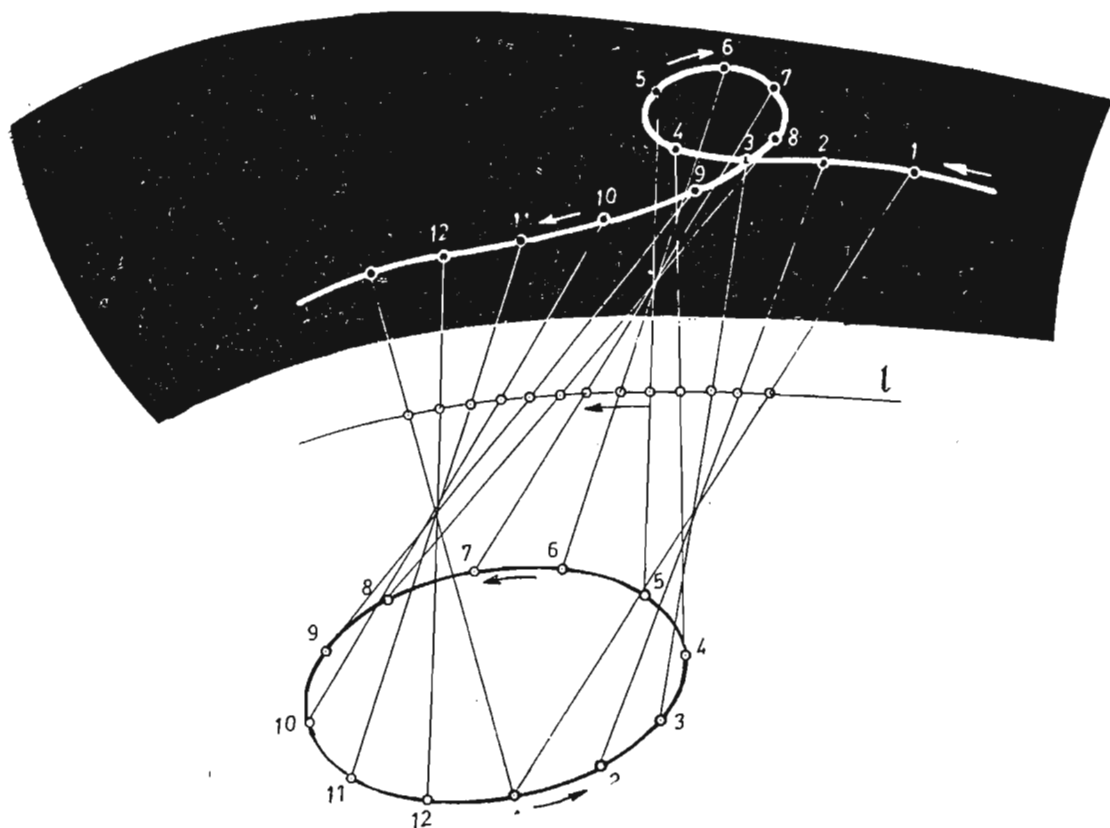
Нови су и битно различити у односу на Птолемејев систем ставови: 3. — којим се Сунце ставља у средиште система и тиме систем постаје хелиоцентричан, 5. — где уводи Земљину ротацију, 6. — где уводи Земљину револуцију и 7. — који је последица претходних. Ови ставови били су познати још Аристарху, али је Коперникова заслуга у томе што је он, у доба када је Птолемејев систем био неприкосновен у свету, имао смелости да Сунце стави у средиште васионе, а Земљу упути на њену планетску путању око Сунца.

8.3. Право кретање планета. — Планете, на основи ставова Коперникове теорије хелиоцентричног кретања Земље и осталих планета, не само да обилазе око Сунца већ у њиховом правом кретању нема ни застоја, ни ретроградних кретања (петљи), што је и потврђено. Застоје и ретроградна кретања планета Коперник је објаснио слагањем Земљиног кретања са кретањем сваке планете око Сунца. Како периоди обилажења Земље и других планета нису једнаки, догађа се да Земља, нпр., прстигне планету и тада се планета привидно помера на запад, ретроградно у односу на звезде (паралактичко кретање планета). Међутим, у друго време њихова кретања се по смеру слажу, па се онда планета креће према истоку (сл. 80). Стрелице на слици пока-

зују смер обилажења Земље и планете која је даља од Сунца него Земља и креће се спорије.

Из величина петљи на привидним путањама Коперник је израчунао релативне даљине планета од Сунца. Тако добијене вредности слажу се добро са њиховим данашњим даљинама.

Разлика између привидног кретања доњих и горњих планета објашњава се тиме што су путање доњих планета у унутрашњости Земљине путање око Сунца, док путање горњих планета обухватају Земљину путању.

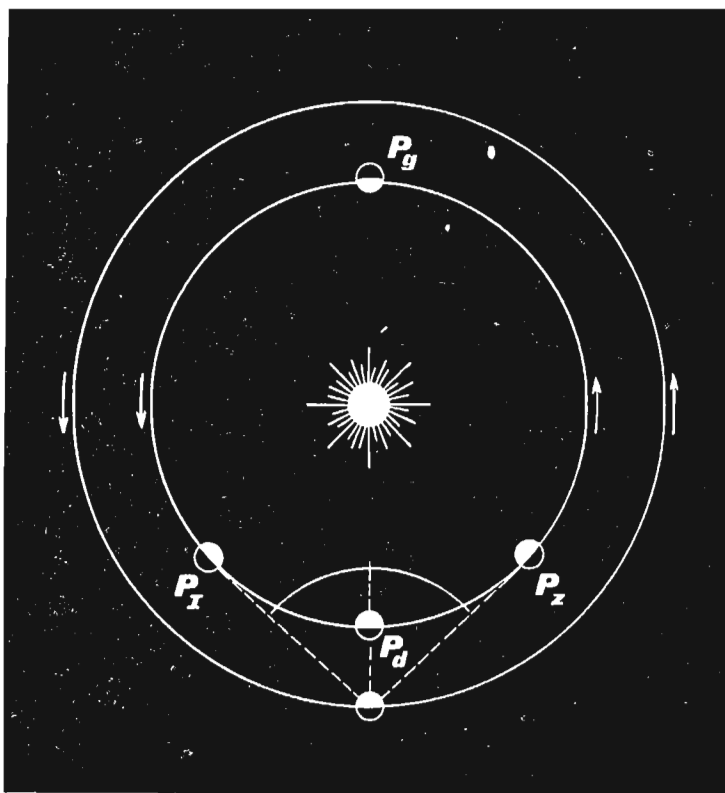


Сл. 80. Коперниково објашњење облика привидних путања планета

Посматрајући и анализирајући кретање унутрашњих планета (сл. 81) видимо да се угао између правца са Земље ка планети и са Земље ка Сунцу мења не прелазећи 29° за Меркур, а за Венеру 48° . Унутрашња планета се може налазити или испред Сунца, у тачки P_d — доња конјункција, или иза Сунца, у тачки P_g — горња конјункција. У првом положају планета је најближе Земљи, у другом најдаље од ње, али у оба случаја не можемо посматрати планету, јер се губи у Сунчевим зрацима. Унутрашње планете се могу посматрати само близу источне или западне елонгације — тачка P_1 или P_2 — и то у првом случају рано увече, на западу после Сунчевог залаза, а у другом пред излазак Сунца, на истоку.

Због свог нарочитог положаја и кретања у односу на Земљу и због тога што светле само одбијеном светлошћу — Меркур и Венера показују различите фазе (мене). Њих је нешто касније открио Галилеј.

Код спољашњих планета фазе су знатно мање изражене. Те су планете најподесније за посматрање у тачки када се виде супротно од Сунца, јер су тада најближе Земљи и добро се виде дурбином. (Нацртај слику!). У то време оне кулминују у поноћ и видљиве су преко целе ноћи. Тај положај планете супротан Сунцу у односу на Земљу назива се *опозиција*.



Сл. 81. Разни положаји унутрашње планете према Земљи и Сунцу

8. 4. Галилејева открића. Борба цркве против науке. — Коперникове идеје су биле нове, а и необичне, јер су се косиле са схватањима о грађи васионе и улози Земље у њој. Ово учење сукобљавало се са постојећим појмовима и теоријама које је заступала црква, која је у то време била апсолутни господар свих друштвених односа. Књигу у којој излаже своје хелиоцентрично учење Коперник штампа тек пред крај живота, и то по изричитом наговору својих пријатеља, који су сматрали да су та открића достојна пажње и да их треба објавити. У прво време католичка црква не схваћа садржину дату у тој књизи, већ дозвољава да се она штампа. Тек 5. марта 1616. године црква књигу забрањује, па чак и спаљује и уноси је у списак књига које верници не смеју читати.

Коперниково учење је изазвало бујицу нових мисли, ослобођених притиска религије. Постало је најзад разумљиво да се ван земаљских области налази бескрајна васиона у којој, можда, постоје и други светови, насељени живим и разумним бићима. Такве је погледе, после Коперникове смрти, почео излагати филозоф Ђордано Бруно, који је

био велики противник цркве и њеног учења. Због тога га је инквизиција и спалила (17. 6. 1600. год.) на ломачи као јеретика.

Галилео Галилеј (1564—1642), познати научник тога доба (сл. 82), учинио је многе проналаске у физици, а борбу за Коперников систем водио је, углавном, прикупљањем доказа и чињеница који су потврђивали његову исправност.



Сл. 82. Галилео Галилеј

Када је сазнао да су Холанђани конструисали дурбин, 1609. године конструише и он својом руком такав инструмент и почиње први од свих људи да га користи за посматрање неба. Открио је да на Месецу постоје планине, што је потврђивало да има и других небеских тела сличних Земљи. Затим је открио четири Јупитерова сателита која око њега круже на сличан начин као Месец око Земље, па Венерине мена, што говори да је и она лоптастог облика, да светли одбијеном Сунчевом светлошћу и да обилази око Сунца а не око Земље.

Посматрајући Сатурн видео је и објавио да су уз планету „закачене“ две звездице. Међутим, то је била оптичка варка на коју га је навео Сатурнов прстен, чији прави

облик није успео да види својим малим дурбином.

Друго значајно откриће тицало се пега на Сунцу, које су му послужиле да открије и да се Сунце обрће око своје осе.

Исто тако Галилеј је својим дурбином видео да је Млечни Пут у ствари мноштво слабих (далеких) звезда, што значи да је васиона већа него што се раније сматрало.

После свих ових открића било је још мање вероватно учење цркве да се огромна васиона за један дан обрне око мале Земље. Своје учење Галилеј је изложио у књизи *Дијалог*, где је не само бранио Коперниково схватање већ је исмевао учење о непокретности Земље. Због тога му је књига забрањена, а од њега је тражила римска инквизиција да опозове своје учење, што је он и учинио, али после неколико дана проведених у заточењу где је, највероватније, инквизиција применила разна мучења. Једно је јасно и сигурно — Галилеј је добро знао да су сва средства инквизиције немоћна да зауставе Земљу у њеном обртању.

Остатак живота Галилеј је провео у заточеништву, где је и даље наставио да ради на науци. Са својим ученицима радио је на изради таблица кретања Јупитерових сателита и конструкцији часовника с клатном. Ово су била важна средства за одређивање географских

дужина, свакодневно потребних у морепловству. Тај посао није завршио, јер је умро.

Галилеј је, присиљен, опозвао своју науку о кретању Земље, али је својим открићима створио оружје за њену коначну победу.

8. 5. Кеплерови закони. — Велики дански астроном Тихо Брахе извршио је крајем 16. века на својој знаменитој опсерваторији „Ураниенборг“ велики број одређивања положаја Сунца, Месеца и планета, а нарочито Марса, и то са дотле недостигнутом тачношћу до $1'$. Његов млади сарадник Јохан Кеплер (1571—1630), (сл. 83) који је од њега наследио овај посматрачки материјал, истраживао је 18 година да би открио законитости у кретању планета, па и Земље, полазећи од претпоставке да се ова кретања врше онако како је тврдила Коперникова теорија и своја испитивања започео на Марсовој путањи која је нагнута само $1^{\circ}51'$ према равни еклиптике (сл. 84).



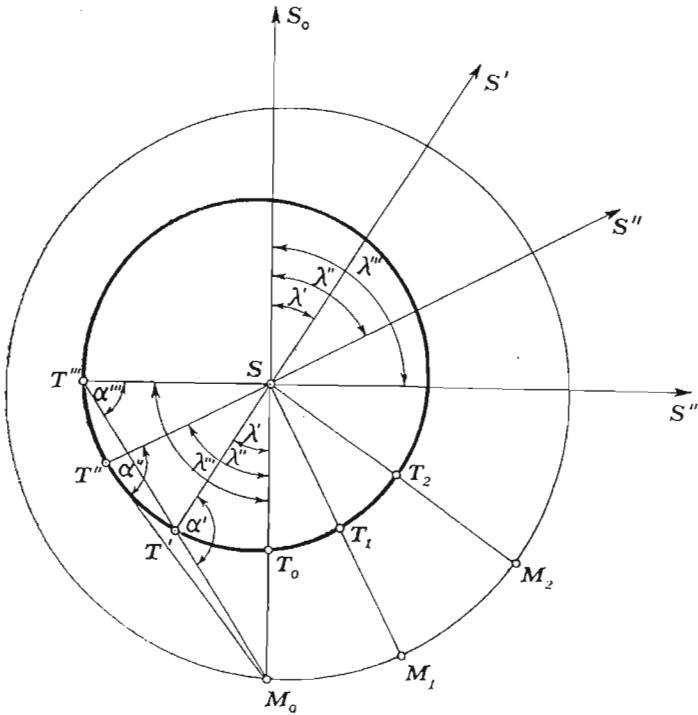
Сл. 83. Јохан Кеплер

1° Извођење првог Кеплеровог закона. Да бисмо приказали како је Кеплер из посматрања извео своје знамените законе кретања планета, учимо у једној равни Земљину и Марсову путању око Сунца S са њиховим полазним положајима T_0 и M_0 у једној Марсовој опозицији са Сунцем. Земља се, као што посматрања показују, креће брже од Марса, те док он обиђе своју путању и врати се у тачку M_0 , Земља своју обиђе скоро двапут и дође у положај T' . Из истог разлога после следећег Марсовог повратка у M_0 Земља ће стићи у T'' , после још једног у T''' , итд. Угловима $\alpha', \alpha'', \alpha''', \dots$ Кеплер је располагао, јер они нису ништа друго до разлике геоцентричних лонгитуда Сунца и Марса, које се могу израчунати из посматраних ректасцензија и деклинација. Углови, пак, $\lambda', \lambda'', \lambda''', \dots$ били су му такође познати из мерења, јер они, као што се и са слике види, нису ништа друго до разлике геоцентричних посматраних Сунчевих лонгитуда, одређених из Земљиних положаја T_0 и T' , односно T_0 и T'' , T_0 и T''' , итд. Кеплер је зато могао из ових углова да израчуна стране r_0, r', r'', \dots односних троуглова, које нису ништа друго до радијус-вектори Земља—Сунце у функцији једне средње Земљине даљине r од Сунца. Радијус-векторима r_0, r', r'', \dots и централним угловима $\lambda', \lambda'', \lambda''', \dots$ могао је конструисати, у извесној размери, Земљину путању око Сунца и испитати њен геометријски облик. Пошто је то учињено и за Марсову путању, могао је одредити и њен облик, а даљине Марса изразити средњом Земљином даљином од Сунца. Тако је дошао до свог првог закона кретања планета: *Планете описују око Сунца елиптичне путање; и заједничкој*

жижи тих елипса налази се Сунце. Математичким језиком он се изражава поларном једначином елипсе:

$$r = \frac{P}{1 + e \cos v},$$

где је r радијус-вектор планета—Сунце, нпр. за Земљу v је њена права аномалија, или поларни угао рачунат од перихела, тј. од правца најмање планетине даљине од Сунца, p параметар елипсе, а e ексцентричност елиптичне путање око Сунца.



Сл. 84. Извођење првог Кеплеровог закона

2° Извођење другог Кеплеровог закона. После дугогодишњих покушаја и после многих напора Кеплер је, исто тако, утврдио правилност, приказану за Земљу доњом таблицом, где ознаке r и $\Delta\lambda$ имају раније значење.

Датум	r^2	$r^2\Delta\lambda$
2. I	0,9669	3548
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

Непроменљивост израза $r^2\Delta\lambda$ Кеплер је формулисао у виду свог другог закона: Радијус-вектор Сунце—планета описује у једнаким временским размацама једнаке површине. Он показује како се планете, па и Земља, крећу по својим путањама око Сунца. Данас се представља изразом:

$$\frac{1}{2} r^2 \frac{dv}{dt} = c,$$

где r и v имају раније значење. У њему је $\frac{1}{2} r^2 dv$ површина бесконачно уског сектора између два радијус-вектора и лука елипсе, а $\frac{1}{2} r^2 dv/dt$ тз. секторска брзина Земљиног кретања, односно планетних по елипси око Сунца, која је, по овом закону, стална. Оба закона Кеплер је објавио у свом знаменитом делу *Astronomia nova* (1609. г.).

3° Извођење трећег Кеплеровог закона. Још дуго година потом Кеплер је вршио даље покушаје да пронађе заједничку законитост која повезује међу собом кретања свих планета око Сунца, а коју је он наслућивао и назвао „хармонијом света“. Најзад је дошао до односа,

приказаних у доњој табlici, за све онда познате планете, у којој је a велика полуоса путање, изражена средњом даљином Земља — Сунце као јединицом, а T време обилажења, изражено временом Земљиног обилажења око Сунца као јединицом.

Таблица 4.

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

Непроменљивост израза a^3/T^2 формулисао је Кеплер у виду свог *трећег закона*: Квадрати времена обилажења планета око Сунца сразмерни су кубовима великих полуосовина њихових путања. Он се данас представља изразом:

$$\frac{a^3}{T^2} = k,$$

где је k један исти број за све планете. Касније се показало да овај закон важи и за системе сателита сваке планете, само је за сваки систем константа k различита. Овај закон Кеплер је саопштио у свом делу *Harmonices mundi* (1619. год.).

Времена обилажења планета око Сунца могу се одредити из посматрања. Тада трећи Кеплеров закон, написан у облику:

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

омогућује да лако израчунамо релативне даљине свих планета око Сунца, изражене астрономским јединицама (А.Ј.), тј. средњом даљином Земља—Сунце (видети Прилог 5 на крају књиге).

Кеплерови закони ударили су темеље теоријској астрономији, која је касније омогућила да се из посматраних положаја једне планете, комете или сателита израчуна њихова путања и обратно, да се из познатих елемената путање израчуна *ефемерида* посматраног небеског тела, тј. низ његових положаја на небеској сфери у по вољи одабраним тренуцима прошлости или будућности.

8. 6. Њутнов закон опште гравитације. — Хајгенс је 1673. год. у свом делу *Horologium oscillatorium* први пут указао да материјална тачка, која се ма и равномерно креће *по кругу*, трпи због свог криволинијског кретања убрзање w уперено ка средишту круга, које је назвао *центрипеталним убрзањем*. Нашао је да је ово убрзање управно сразмерно квадрату линијске брзине v кретања тачке, а обрнуто сразмерно полупречнику r кружне путање, тј. да је:

$$w = \frac{v^2}{r}.$$

Убрзо после тога Рен, Хук и Халеј су, независно један од другог, применили ову теорему на кретање планета, па и Земље, под претпоставком да су њихове путање кружне. По тој претпоставци је:

$$v = \frac{2\pi r}{T},$$

где је r полупречник путање, а T време планетиног обиласка путање око Сунца, па су за њихово центрипетално убрзање нашли израз:

$$w = \frac{4\pi^2 r}{T^2}.$$

Користећи, даље, трећи Кеплеров закон, из кога је:

$$\frac{r}{T^2} = \frac{k}{r^2},$$

они су дошли до израза за центрипетално убрзање планета:

$$w = 4\pi^2 k \cdot \frac{1}{r^2},$$

који казује да свака планета у сваком свом положају има убрзање уперено према Сунцу, а обрнуто сразмерно квадрату њене даљине од Сунца.



Сл. 85. Исак Њутн

У свом бесмртном делу *Philosophiae naturalis principia mathematica* (1687. год.) Њутн (1642—1727) (сл. 85) је, доказао, полазећи од Кеплерових закона, да овај закон важи и за елиптичне путање планета. Но он је пошао још један корак даље у тежњи да испита природу силе која изазива ово убрзање. Претпоставио је да иста сила изазива слободно падање тела на Земљиној површини и Месечево центрипетално убрзање на његовој путањи око Земље. Да би ово доказао, израчунао је, с једне стране, убрзање слободног падања на Месечевој даљини од Земље, а, с друге стране, центрипетално Месечево убрзање на његовој путањи око Земље, и тако доказао да су ова два убрзања идентична:

$$g_1 = w,$$

чиме је Њутн потврдио своју претпоставку.

Увидевши да исто тело трпи различито убрзање, тј. да има различиту тежину на разним даљинама од Земљиног тежишта, иако му се при том количина материје не мења, Њутн је узео за количину материје појам *масе* m и овај појам раздвојио од појма *тежине* P , као силе којом Земља привлачи ту масу. Тежину, односно силу, дефинисао је као производ масе и убрзања, као што и експерименти показују, и тако дошао до свог знаменитог *Принципа независности дејства силе*:

$$P = m \cdot w$$

или другог основног принципа механике, а одмах затим и до трећег основног принципа механике — *Принципа акције и реакције*. Сада је могао наћи израз за силу којом Сунце приморава планете да обилазе око њега.

Множењем израза за центрипетално убрзање планете са њеном масом m нашао је за ту силу израз:

$$P = 4\pi^2 k m/r^2.$$

Али, према Принципу акције и реакције, мора и планета привлачити Сунце силом исте јачине, а супротног смера. Та сила је производ масе Сунца M и његовог убрзања. Зато ако уведемо једну нову величину f , дефинисану сменом:

$$f = 4\pi^2 k/M,$$

или сменом:

$$f = 4\pi^2 \frac{r^3}{T^2} \cdot \frac{1}{M},$$

с обзиром на већ наведену вредност за константу k , која је иста за све планете и позната из трећег *Кеплеровог закона*, онда израз за P добија облик:

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

Коефицијент пропорционалности f исти је и за Месец и за Земљу; дакле, то је константа која изражава једну општу особину материје у целом Сунчевом систему.

Увидевши ово, Њутн је овај закон узајамног привлачења Сунца и планета проширио и на свака два делића материје у васиони, чије су масе m_1 и m_2 , а међусобно растојање r и тако дошао до најопштијег природног закона, закона опште гравитације:

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

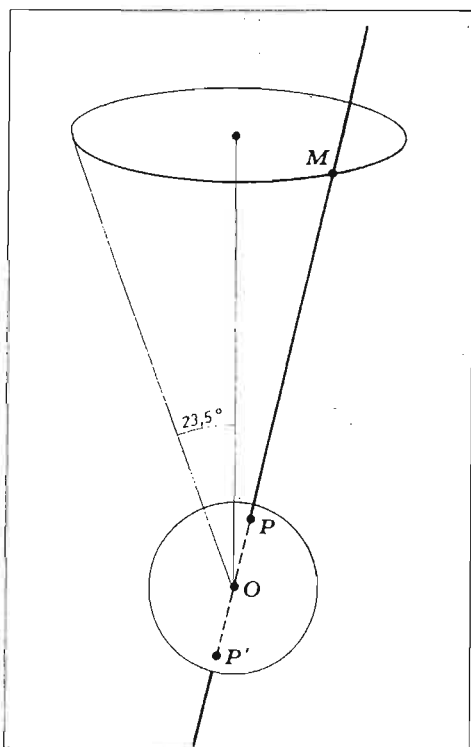
тј. свака два делића материје у васиони узајамно се привлаче силом сразмерном производу њихових маса, а обрнуто сразмерном квадрату њиховог растојања. При том је f универзална константа. Овај за-

кон потврдила су и сва каснија искуства и из њега се јавила једна нова наука — небеска механика.

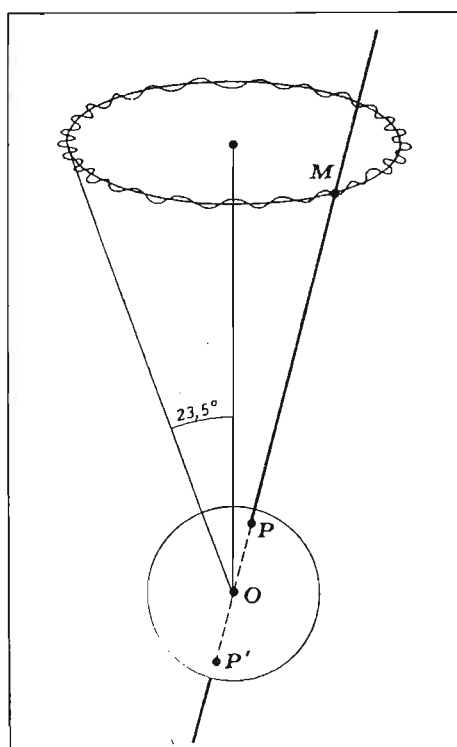
И тела на самој Земљи узајамно се привлаче по овом закону, само је ова сила занемарљива према оној којом их привлачи Земља; веома осетљивим огледима (Кевендиш и др.) ова сила је ипак утврђена.

8. 7. Последице закона гравитације. — После открића закона гравитације многе су појаве објашњене као његове последице: кретање планета и њихових сателита, кретање комета, метеорских ројева и метеора, поремећаји у њиховим кретањима услед гравитационог дејства других тела (чак су обрачунавањем ових поремећаја откривене и две нове планете — Нептун и Плутон), затим Земљина спљоштеност и др. Законом гравитације објашњено је кретање двојних и вишеструких звезда. Но нарочито је значајно објашњење које је он дао за Земљино прецесионо и нутационо кретање и за плиму и осеку Земљиних мора и океана, Земљине атмосфере и њене коре.

1° Прецесија и нутација. Услед дејства центрифугалне силе, настале Земљиним обртањем Земља је добила облик обртног елипсоида, она није идеална лопта, већ је на половима спљоштена, а на екватору испупчена. Сунце и Месећ јаке привлаче онај део овог испупчења који је њима окренут него онај који се налази супротно од њих. Разлика ове две привлачне силе изазива мали спрег који се слаже са спрегом Земљине ротације и дејствује тако да Земљину обртну осовину, заједно са Земљом, полако помера у ретроградном смеру, тако да она опише око осе еклиптике конус отвора $23\frac{1}{2}^\circ$ за 25 700 година. Овај период назива се *платонска година*. За исто време и γ тачка, крећући се ретроградно, опише еклиптику, а светски пол око пола еклиптике тзв. *прецесиони круг* (сл. 86). Годишње померање γ тачке по еклиптици услед ове појаве износи око $50''$ у сусрет привидном Сунчевом годишњем кретању. Зато је појава названа *прецесија*, што на латинском значи предњачење.



Сл. 86. Прецесиони круг



Сл. 87. Таласна крива астрономске нутације

Последица прецесионог померања светског пола међу звездама је да ће се он све до 2100. год. приближавати Северњачи (до на 27'), а затим почети да се удаљава од ње. После 12 000 година место Северњаче заузеће сјајна Вега. Последица прецесионог померања γ тачке је и ретроградно померање зодијачких знакова. Подела на зодијачке знаке је извршена пре више од 2000 година. Отада су γ тачка, па и зодијачки знаци, померени за око 29° или скоро тачно за један знак. Зато данас знак Овна пада у сазвежђе Рибе, знак Бика у сазвежђе Овна, итд. Најзад, као последица прецесије, настаје и спора измена изгледа звезданог неба и спора промена у трајању годишњих доба.

Но положаји Сунца и Месеца, а исто тако и њихове даљине нису стални према Земљи, већ се периодично мењају. Зато су прецесиони круг, а исто тако и прецесиони конус благо заталасани (сл. 87). Амплитуда једног таласа не прелази $9'',2$ а периода 18,6 година. Ова појава назива се *астрономска нутација*.

2° Плима и осека. Давно је било примећено да се ниво воде на обалама мора два пута у $24^h 50^m$ издиже и достиже највећу висину — *плима* и два пута спушта до најмање висине — *осека*. Како је ово размак између две узастопне Месечеве кулминације у једном месту, то је појава плиме и осеке везана за Месечев утицај. Но и ову појаву је егзактно објаснио тек Њутн законом гравитације.

Претпоставимо да је читав Земља обавијена воденим омотачем (сл. 88). Месечево привлачно гравитационо дејство на тачку M , због веће близине, биће веће од привлачења тачке T , а још веће од привлачења тачке M' . Зато ће се тачка M приближавати више Месецу од Земљина средишта, а тачка M' мање од њега. Зато ће се на Земљиној страни окренутој Месецу и на супротној појавити плима, а у тачкама P и P' тада мора наступити осека, пошто је количина воде непромењена. Због Земљиног обртања стојећи плимски талас (испупчење M , односно M') кретаће се по површини океана и мора са истока на запад и плима (односно осека) понављаће се у размацима од $12^h 25^m$.

И Сунце слично утиче својим привлачењем, но због његове знатно веће даљине овај утицај је два пута мањи. У фази младог и пуног месеца ове се плиме сабирају, а у фазама прве и последње четврти одузимају, што је и посматрањима потврђено.

Због промене положаја и даљина Месеца и Сунца математички израз за предвиђање плиме и осека, као и њихових износа за свако место, веома је сложен. Но појава је у пракси још сложенија због утицаја месног рељефа морског дна и обала, па ће се мерење плиме и тренуци њихових појава знатно разликовати од рачунски предвиђених. Висина плиме је на отвореним океанима око 1 m. На Јадранском мору креће се од 0,5—2 m. Највећа је на источној обали Канаде, где достиже и 15 m.

Висину морских нивоа, која се непрекидно мења, у многим приморским местима, аутоматски региструју апарати *мареографи*.

Познавање висине морскога нивоа у сваком тренутку је од великог практичног значаја за пловидбу, за геодетске потребе и за искоришћавање плимске енергије у привредне сврхе. На атлантској обали Француске постоји електрична централа и велики млинови који користе енергију плиме. Све више се ради на усавршавању механизма за искоришћавање ове веома јевтине циновске енергије, која је, после Сунчеве, највећа на Земљи и износи око 11 трилиона коњских снага. У поређењу са њом маленкост су оних неколико стотина милиона коњских снага које данас укупно користи човечанство.



Сл. 88. Плима и осека
осека

И сам Земљин ваздушни океан трпи сличан гравитацијски утицај Месеца и Сунца који на њему изазива *атмосферске плиме и осеке*. И сама Земљина кора, која није сасвим чврста, већ пластична, трпи овај утицај и показује, иако у много мањој мери, *плиме и осеке Земљине коре*, чије су интересантне законитости предмет изучавања многих геофизичких опсерваторија.

8.8. Уопштење Кеплерових закона. Одређивање маса небеских тела. — Из закона гравитације могу се математичким путем извести Кеплерови закони у тачнијем и општијем облику но што их је Кеплер извео из посматрања. За први се закон тако добија општа једначина коничног пресека. Који ће конични пресек бити путања небеског тела око Сунца, зависи од његове почетне брзине v . Она ће бити *елипса*, *парабола* или *хипербола*, према томе да ли је:

$$v \begin{cases} < \\ = \\ > \end{cases} \sqrt{\frac{2f(M+m)}{r}},$$

где величине под кореном имају исто значење као и у закону гравитације. У том смислу се често говори о „елиптичној“, „параболичној“ и „хиперболичној“ брзини.

И за трећи Кеплеров закон добија се општији израз:

$$\frac{T^2 (M+m)}{a^3} = \frac{4\pi^2}{f} = \text{const}, \quad (\text{a})$$

где је M маса Сунца, m маса планете, а T и a имају раније значење. За две планете, са масама m_1 и m_2 , временима обилажења око Сунца T_1 и T_2 и великим полуосама путања a_1 и a_2 , упоређивањем горњих израза, добијамо однос:

$$\frac{T_1^2 (M + m_1)}{T_2^2 (M + m_2)} = \frac{a_1^3}{a_2^3}.$$

Он се своди на трећи Кеплеров закон изведен из посматрања (који је само приближан), ако занемаримо масе планета према маси Сунца.

1° Израз (a) омогућује да се лако одреди маса — *планете која има бар један сателит*. И доиста, ако са M , m и m' обележимо респективно масу Сунца, планете и њеног ученог сателита, са T и T' периоде обилажења планете око Сунца и сателита око планете и са a и a' полуосе планетине и сателитове путање, онда нам израз (a) даје односе:

$$\frac{T^2 (M + m)}{a^3} = \frac{4\pi^2}{f} \quad \text{и} \quad \frac{T'^2 (M + m')}{a'^3} = \frac{4\pi^2}{f}.$$

Њиховим упоређењем добијамо однос:

$$\frac{M + m}{m + m'} = \left(\frac{a}{a'}\right)^3 \cdot \left(\frac{T'}{T}\right)^2$$

Маса сателита већином је занемарљива према маси планете, као и ова последња према маси Сунца, тако да последњи израз даје прост образац:

$$m = \left(\frac{a'}{a}\right)^3 \cdot \left(\frac{T}{T'}\right)^2 \cdot M$$

за израчунавање планетине масе у јединицама Сунчеве масе. Кад одредимо апсолутни износ Сунчеве масе, горњи образац може дати и апсолутни износ планетине масе.

2° Маса планета које немају сателите (Меркур, Венера и Плутон). Маса ових планета одређују се из поремећаја које та планета својом гравитацијом врши на путање других планета.

Из последњег израза можемо одредити Сунчеву масу ако за m усвојимо Земљину масу. Ставимо ли у тај израз $T = 365,256$, $T' = 27,32$, $a = 149,6 \cdot 10^3$ km, $a' = 384,4 \cdot 10^3$ km, добијамо за Сунчеву масу:

$$M = 333\,000\,m.$$

За Месечеву масу, зато што није занемарљива према Земљиној, исти израз примењен на Земљу и Месец даје само приближну вредност 0,01 m . Тачна вредност добија се на други начин и износи 1/81,5 m .

8. 9. Савлађивање гравитације и човеков лет у васиону. — Одавно је човек сањарио о томе како да савлада Земљину гравитацију и крене у васиону. Али је тек 1957. год. избачен први Земљин вештачки сателит, а 1961. год. први пут полетео човек у васиону (Ј. Гагарин). Већ 1969. год. први људи су се искрцали на Месецу (Армстронг и Олдрин), а космички бродови прошли су поред саме Венере и Марса и изблиза снимили њихове површине. Данас преко 2000 вештачких небеских тела кружи васионом. У главама 7 и 8 говори се о открићима које је пружила астронаутика. На крају књиге дат је и календар најважнијих догађаја у астронаутици. Размотримо служећи се законом гравитације, какве су брзине потребене да би се тело, избачено у правцу кружења око Земље одвојило од Земље и да би се одвојило и од самог Сунчевог система.

1° *Прва космичка брзина.* Обележимо са m_0 масу Земље, са m масу вештачког Земљиног сателита, избаченог у хоризонталном правцу на удаљењу $r = R + h$ од Земљиног средишта (где је R Земљин полупречник, а h висина сателита), под претпоставком да нема атмосфере која отпором смањује брзину сателита. Да не би пао на Земљу, већ кружио око ње, сила гравитације која на њега делује, или његова тежина, треба да буде једнака центрифугалној сили. Зато можемо написати две еквивалентне једначине:

$$\frac{mv_k^2}{r} = f \frac{m \cdot m_0}{r^2}$$

и

$$\frac{mv_k^2}{r} = mg.$$

Зато и за брзину кружења v_k има два равноправна израза:

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

и

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

Ако је $h = 0$, онда се брзина кружења назива прва космичка брзина и она је из последња два израза:

$$v_1 = \sqrt{fm_0/R}, \quad \text{или} \quad v_1 = \sqrt{gR} = 7,9 \text{ km/sec.}$$

Тада се и брзина кружења може изразити помоћу прве космичке брзине:

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

одакле се види да је брзина кружења утолико мања уколико је сателит избачен у хоризонталном правцу на већој висини h изнад Земље. Због уштеде у гориву Земљини вештачки сателити избацују се у смеру брзине Земљине ротације и тако се користи почетна брзина коју добијају од саме Земље.

2° *Друга космичка брзина.* Да би тело избачено под истим условима као у претходном случају напустило Земљу, његова кинетичка енергија треба да је бар једнака потенцијалној енергији у датој тачки

$$\frac{mv_p^2}{2} = f \frac{m \cdot m_o}{r},$$

и

$$\frac{mv_p^2}{2} = mgr.$$

Одатле је гранична брзина напуштања Земље на висини h , или *параболична брзина*:

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

или:

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

Параболична брзина на Земљиној површини назива се *друга космичка брзина* и износи:

$$v_2 = \sqrt{2fm_o/R}, \quad \text{или} \quad v_2 = \sqrt{2gR} \quad \text{или} \quad v_2 = v_1^2 = 11,2 \text{ km/sec.}$$

Тада је параболична брзина изражена другом космичком брзином:

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

Одатле се види да је параболична брзина утолико мања уколико је васионски брод избачен на већој висини. До висине h њега носи више-степенa ракета, тамо се аутоматски окрене у хоризонталан положај и брзина се повећа до v_p .

Тело избачено брзином мањом од v_p кружи око Земље по елипси која је све издуженија што је брзина већа. При брзини једнакој v_p тело напушта Земљу по параболи, а ако је брзина већа од v_p — по хиперболи.

Сателит који око Земље кружи на даљини r од средишта има време обиласка:

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

Време је утолико веће уколико је већа висина h ; најмање је при Земљиној површини и износи:

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

Везу између времена обиласка и полуосе путање даје трећи Кеплеров закон.

3° *Трећа космичка брзина.* То је брзина v_3 којом треба избацити тело са Земље да напусти и сам Сунчев систем. Ако је Сунчева маса $M = 2,0 \cdot 10^{30}$ kg, а његов полупречник $R = 696\,000$ km, друга космичка брзина би на Сунчевој површини износила:

$$v_2 = \sqrt{2fM/R} = 618 \text{ km/sec.}$$

На Земљиној даљини $r = 1,5 \cdot 10^{10}$ m брзина кружења би износила:

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

а параболична брзина:

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

Земља се око Сунца креће просечном брзином 30 km/sec, па је јасно зашто не може напустити Сунчев систем.

Да би тело избачено по тангенти на Земљину путању око Сунца, а у смеру Земљиног кретања, савладао Земљину гравитацију, треба му дати брзину $v = 42,1 \text{ km/sec} - 29,8 \text{ km/sec} = 12,3 \text{ km/sec}$. Да би напустило Сунчев систем, треба му дати кинетичку енергију

$$\frac{mv^2_3}{2} = \frac{mv^2_2}{2} + \frac{mv^2}{2}.$$

Одатле излази да је трећа космичка брзина;

$$v_3 = \sqrt{v^2_2 + v^2} = 16,6 \text{ km/sec.}$$

Ова брзина још није достигнута, али се истражују извори енергије којом се она може постићи.

Размишља се и о изворима који би створили тзв. *четврту космичку брзину* v_4 , којом би тело бачено са Земље напустило и наш Звездани систем.

ПИТАЊА

1. Како изгледају привидне путање планета?
2. Који су основни ставови Птолемејевог геоцентричног система?
3. Како је Коперник објаснио „петље“ на привидним путањама планета?
4. Који су основни ставови Коперниковог хелиоцентричног система?
5. Које је доказе наводио Коперник за хелиоцентрични систем?
6. Шта је открио Галилеј кад је први извршио астрономска посматрања дурбином и како је ова открића употребио за доказ хелиоцентричног система?
7. Како гласе Кеплерови закони и како је Кеплер до њих дошао?
8. Како гласи закон опште гравитације и како га је Њутн извео?
9. Како се законом гравитације тумачи плима и осека?
10. Како се законом гравитације тумаче појава прецесије и нутације?
11. Шта су прва и друга космичка брзина?

ЗАДАЦИ

1. Може ли Марс сваке године прићи на најмању даљину Земљи, тј. доћи у опозицију?
2. Опозиција Јупитера догодила се 15. јуна 1937. год. Када је била следећа?
3. За које би време обилазила око Сунца планета која би од њега била удаљена 100 астр. јединица.
4. Шта је веће: убрзање које Земља саопштава Сунцу или Месецу и колико пута?
5. Израчунати масу Марса у поређењу са Земљином из кретања његовог сателита Фобос, чија је средња даљина од Марса 9 300 km, а време обиласка око Марса 0,32 дана. За Месец те величине износе 385 000 km и 27,3 дана.
6. Колико ће времена летети до Марса васионски брод који се креће по путањи чији је перихел удаљен од Сунца као Земља (1.), а афел удаљен као Марс (1,5 астр. јед.)?
7. Колику брзину мора имати вештачки Земљин сателит да би кружио 1000 km изнад Земље? Колико траје један његов обилазак на тој висини?
8. Колику би брзину морао да постигне васионски брод на Марсу да би полетео ка другим планетама? Маса Марса је $0,64 \cdot 10^{24}$ kg, а његов полупречник 3430 km.

ПОСМАТРАЊА

1. Из астрономских ефемерида, које објављује часопис „Васиона“, одреди периоде вечерње и јутарње видљивости Венере. Затим уноси из вечери у вече, односно из јутра у јутро, Венерине положаје у звездану карту и увери се о привидном кретању унутрашњих планета.
2. Из истих ефемерида, као у претходном задатку, одреди периоде у којима планете Марс, Јупитер и Сатурн описују „петље“. Одабери једну од њих, која има најповољније услове видљивости у доба посматрања, па уноси из вечери у вече њене положаје у звездану карту и увери се о привидном кретању спољних планета.

ГЛАВА ДЕВЕТА

СУНЧЕВ СИСТЕМ — ПЛАНЕТЕ

9.1. Општи поглед на Сунчев систем. — Назив *Сунчев систем* је изванредно добро погођен за Сунце и сва она тела која се крећу око њега. То је систем који се креће по одређеним законима (што је изложено у претходној глави) у коме Сунце, као једна звезда, доминира и одређује кретање осталих тела. За своју изузетну улогу Сунце треба да захвали првенствено својој маси која чини, 99,86% укупне масе читавог система. У њему Сунце представља динамички центар око кога се крећу 9 познатих великих планета: *Меркур, Венера, Земља, Марс, Јупитер, Сатурн, Уран, Нептун* и *Плутон*, са своја 32 до сада откривена сателита, затим око 1800 малих планета, или планетоида (астероида), око 500 познатих комета и, најзад, безброј метеора. Простор у коме се крећу сва ова тела назива се *међупланетски простор*.

Све велике планете крећу се у истом (директном) смеру око Сунца по путањама које леже скоро у истој равни и које се мало разликују од кружних. Изузетак је Плутонова путања, која има велики нагиб у односу на Земљину путању (17°). Ако желимо да начинимо модел Сунчевог система ради бољег одређивања размера и односа маса, онда ћемо Земљу приказати лоптицом, пречника 1 cm, док би се на даљини од 117 m налазило Сунце, пречника 1,1 m. Месец би био лоптица, пречника 3 mm, удаљена од Земље 30 cm. Јупитер, највећа планета у систему, био би приказан лоптом, пречника 10 cm, на даљини 608 m од Сунца, а Плутон, најудаљенија планета, имао би пречника око 4 mm и налазио се 4,5 km далеко од Сунца. Ако бисмо у размерама овог модела желели да прикажемо најближу звезду, она би се, као лопта пречника 1,1 m, налазила 30 000 km далеко од Сунца.

Велику олакшицу у памћењу релативних даљина планета од Сунца даје тзв. Тицијус-Бодеево емпиријско правило. Оно је објављено 1772. год. и одговарало је даљинама тада познатих планета. Бодеево правило се не може применити на две последње откривене планете — Нептун и Плутон, али је за своје време представљало велики успех и подстакло трагање за планетом између Марса и Јупитера и тако довело до открића малих планета — планетоида (астероида).

Ако се по реду удаљавања од Сунца наведу велике планете, па се свакој допише 4, а затим се испод прве дода 0, испод друге 3, испод треће 6, испод четврте 12, итд., добија се ред приказан у табели. Он

заиста тачно приказује релативна растојања планета од Сунца, при чему је за јединицу узета даљина Земље од Сунца, односно *1 астрономска јединица* (1 А. Ј.). Уран није био познат у време објављивања Тицијус-Бодеевог правила, али је откривен нешто касније и добро се слагао са правилом. Ово је још више истакло вероватноћу да у простору између Марса и Јупитера, односно на даљини 2,8 А. Ј. од Сунца, треба очекивати откриће неке планете.

Таблица 6.

Планета	Меркур	Венера	Земља	Марс	—	Јупитер	Сатурн	Уран	Нептун	Плутон
	4	4	4	4	4	4	4	4	—	—
	0	3	6	12	24	48	96	192	—	—
Приближно растојање	0,4	0,7	1,0	1,6	2,8	5,2	10,0	19,6		
Право растојање	0,39	0,72	1,00	1,52	2,8	5,2	9,54	19,2	30	40

П л а н е т о и д и (а с т е р о и д и). Организовано трагање за непознатом планетом учинили су европски астрономи крајем XVIII века. И заиста, напор је био крунисан успехом. У ноћи 1. јануара 1801. год. италијански астроном Пијаци открио је мало планетско тело (планетоид) скоро баш на очекиваном месту. Овај први откривени планетоид добио је назив *Церес*. У току следећих седам година откривено је још три планетоида: *Палас*, *Јуно* и *Веста*. До данас је откривено и нумерисано 1 800 планетоида са поуздано одређеним путањама. Процењује се да њихов број мора бити знатно већи. Данас се сматра да има 480 000 планетоида са пречником већим од 1,6 km. Међу нумерисаним планетоидима налазе се и они које су открили наши астрономи. Тако је 1936. год. откривен планетоид Србија, а касније и други.

9.2. Физичке особине планета. — Да бисмо упознали чланове Сунчеве породице планета, изложићемо неке њихове опште заједничке карактеристике, а затим ћемо детаљније проучити сваки члан посебно.

Из много разлога планете се, природно, деле у две групе: *планете Земљиног типа* и *планете Јупитеровог типа*. Планете Земљиног типа су: Меркур, Венера, Земља, Марс и, вероватно, Плутон, а остале четири: Јупитер, Сатурн, Уран и Нептун су планете Јупитеровог типа, или планете — *џинови*.

Планете Земљиног типа карактеришу: мала маса, велика густина, спора ротација, мали број сателита и ретка атмосфера.

Планете Јупитеровог типа карактеришу: велика маса, мала густина, брза ротација, велики број сателита и веома пространа и густа атмосфера.

Вероватно је маса узрок ових разлика. Када се материја кондензовала у планетна тела, вероватно су планете са највећом масом сачувале првобитни хемијски састав и постале планете Јупитеровог типа

са изразитим атмосферама које су састављене углавном од водоника и хелијума. Планете ближе Сунцу, које још имају и мање масе, нису могле да сачувају атмосфере лаких гасова. Те планете су изгубиле своје атмосфере, а ако их данас имају, то су атмосфере од тежих гасова. Врло је вероватно да су њихове данашње атмосфере, секундарног порекла, настале релативно недавно као резултат радиоактивног распада или вулканских ерупција.

Осим ових заједничких особина, сваку планету карактеришу неке специфичности које јој дају индивидуално обележје. Ракетна астрономија сваке године обогаћује наша знања о физичким карактеристикама суседних планета. Међутим, о најудаљенијим планетама, као што су Уран, Нептун и Плутон, још увек врло мало знамо.

Таблица 6.

Подаци о највећим планетоидима

Име планетоида	Ко је открио и када	Пречник km	Сидеричка револуција	Велика полуоса у А.Ј.	Маса у kg
Ceres	Пијаци 1801.	770	460	2,768	6×10^{20}
Palas	Олберс 1802.	490	461	2,772	2×10^{20}
Juno	Хардинг 1804.	190	436	2,668	2×10^{19}
Vesta	Олберс 1807.	380	363	2,362	1×10^{20}
Astrea	Хенке 1845.	100	414	2,577	

9.2.1. Планете Земљиног типа. — У породици великих планета Меркур је најмања, али врло сјајна планета. И поред великог сјаја Меркур се изузетно тешко посматра јер је близу Сунца. Крећући се по елиптичној путањи око Сунца ова планета има највеће угловно растојање од Сунца (највећу елонгацију), само 28° . То значи да се са Земље може посматрати ноћу само 1,5 час пре изласка и после заласка Сунца и то на малим висинама изнад хоризонта. Због турбуленције и других ефеката у Земљиној атмосфери посматрање небеских тела на малим висинама је врло неповољно (видети 6.7). Меркур може да се посматра и дању, али су за то потребни специјални инструменти за најбољу могућу екранизацију Сунчеве светлости.

Меркур има мена.

Иако је знатно мањи од Земље ($R = 2440 \text{ km}$), по густини јој је врло сличан. Основни параметри који карактеришу Меркур наведени су у Прилогу 5.

Новија мерења Меркурове ротације дају 58,6 дана, тј. мању вредност него што се доскора сматрало (88 дана). Према томе, сидерички период Меркурове ротације и револуције није исти.

На оној страни планете која је окренута Сунцу температура је врло висока — око 340° C . На супротној страни температура није измерена, али нека посредна израчунавања показују да је тамо температура врло ниска, мада ипак не онако како се сматрало пре десетак година. Мерења су показала да Меркур има врло разређену атмосфе-

ру, па му је површина стално изложена бомбардовању честица са Сунца и паду метеорита. Најновији снимци показују да му је површина слична Месечевој.

Перихел Меркурове путање помера се у простору, мада врло споро. Сви прорачуни утицаја околних небеских тела према законима класичне механике нису могли да објасне ово кретање. Ако се, међутим, примени Ајнштајнова теорија релативности, добија се добро слагање са поменутом појавом.

Меркур нема сателита.

Венера. Венеру видимо као најсјајније тело на небу после Сунца и Месеца. Пошто јој највећа елонгација од Сунца износи око 48° , то се Венера лепо види на западном небу пуна три часа после Сунчевог залаза („Вечерњача“) и исто толико у јутарњим часовима, када се као „Зорњача“ последња гаси пред излаз Сунца. Због свог великог сјаја Венера се често види голим оком и дању.³³

По димензијама, маси и густини Венера је заиста Земљина планета — сестра, што је очигледно када се упореде њихове карактеристике наведене у Прилогу 5.

И поред великог сјаја, као и других погодних услова за ноћна посматрања, Венера је за нас донедавно била загонетна планета. Густа и непрозирна атмосфера онемогућавала је дугогодишње напоре упорних астронома — посматрача да сазнају њене особине. Тако се све до 1962. године, када је почело успешно лансирање америчке серије летилица „Маринер“ и совјетске серије аутоматских станица „Венера“, није знао састав Венерине атмосфере, температура и притисак на површини, па чак ни да ли ротира, којом брзином и у коме смеру.

Не улазећи у све тешкоће интерпретације података који су добијени помоћу „Маринера“, и „Венере“, навешћемо само оне резултате за које се данас верује да су поуздани.

Венера има атмосферу која се састоји углавном од угљен-диоксида ($97\% \pm 3\%$). Због обиља азота у Земљиној атмосфери, овај је елеменат дуго навођен као врло вероватан и за Венерину атмосферу. Међутим, његово присуство није потврђено. Сматра се да у малим количинама има водене паре и амонијака. Атмосферски притисак је врло мали: 0,6 до 2,0 атмосфере. Температура високе атмосфере је око 0°C .

Температура и притисак расту са продирањем у дубље слојеве атмосфере, тако да је површина Венере врло топла што је потврђено и најновијим истраживањима. Сматра се да је површинска температура око 470°C , а притисак врло висок — око 90 до 100 атмосфера. Није запажена знатнија разлика температура на дневној и ноћној страни. Ово је оборило једну од ранијих хипотеза да је период Венерине ротације једнак периоду њене револуције и да је Венера увек истом страном окренута Сунцу. Радио-астрономска мерења су открила да Венера ротира у супротном смеру од осталих планета и да период њене ротације износи 243 дана.

Највероватније објашњење за високу температуру на површини Венере није само близина Сунца већ и ефекат „стаклене баште“. На-

³³ Због изузетног сјаја стари Грци су је називали Фосфорус.

име, кроз атмосферу, која се претежно састоји од CO_2 , пролази видљиви део Сунчевог зрачења, који носи највећу количину енергије и загрева површину Венере. Загрејана површина зрачи енергију на дужим таласима, али ово зрачење не може да *напусти* Венеру јер је њена атмосфера непрозирна за инфрацрвено зрачење. На тај начин Венерина атмосфера има исту улогу као стакло у стакленим баштама.

При оваквим условима није вероватно да на Венери има облика живота. Остаје отворено питање због чега две планете — Земља и Венера, скоро идентичне по маси и величини, имају тако различит састав, а такође се разликују и по физичким карактеристикама атмосфера и површина?

Венера нема магнетног поља и нема сателита.

Марс. Марс је црвена планета која се види голим оком, мада је мање сјајна од Венере. Због боје је и добила име римског бога рата. Марс има прозачну атмосферу, што је омогућило посматрање и проучавање детаља површине планете током стотина година. Тако је скупљен огроман посматрачки материјал, који је послужио као основа за многе хипотезе о физичким карактеристикама ове планете, о сличности са условима на Земљи и о евентуалним живим бићима на Марсу. Многе од ових хипотеза постале су неодрживе после новијих истраживања, али је несумњиво да је Марс планета о којој је највише написано.

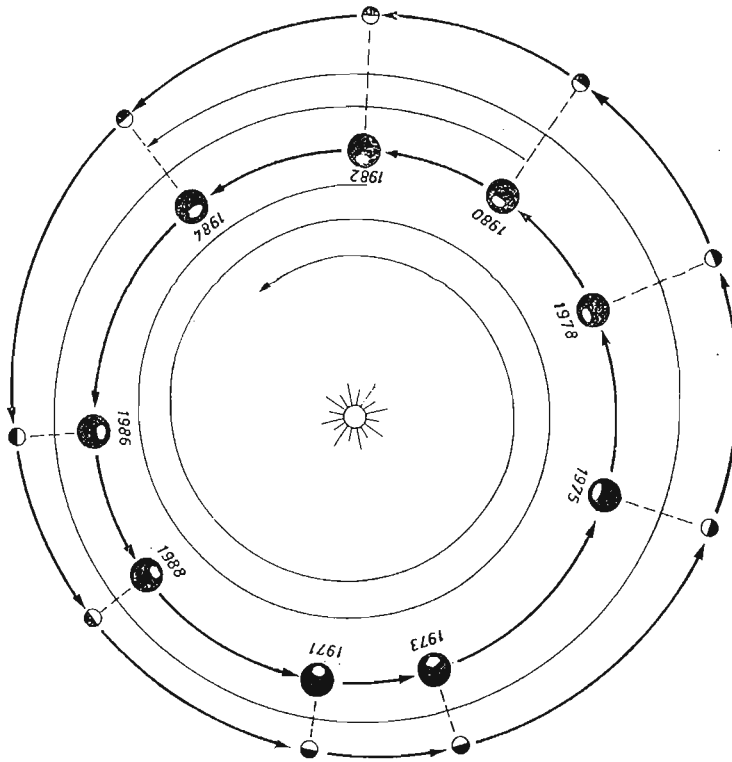
Марс је већи од Меркура, а приближно два пута мањи од Венере. По детаљима на површини лако се закључује да време ротације износи око $24^{\text{h}} 40^{\text{m}}$, што значи да дан и ноћ трају скоро исто као на Земљи. Оса ротације је нагнута према равни путање за угао од $25^{\circ} 12'$. Последња тога била би смена годишњих доба, слично као и на Земљи.

Марс може да се добро посматра кад је у опозицији са Сунцем, што се дешава после сваке две године и педесет дана (његов сидерички период је 780 дана). Међутим, у разним опозицијама његово растојање од Земље варира за око два пута (сл. 89). Најповољнија опозиција за посматрање свакако је она када је Марс најближи Земљи. Овај положај се назива *велика опозиција* и понавља се сваких 15 и 17 година наизменично (1956, 1971, 1988, ...).

Детаљи површине. Површина Марса је покривена загатним облицима, чија природа током векова побуђује несмањено интересовање. Већина од њих има сталан положај и облик.

Светле области покривају већи део Марсове површине. Њихова наранџастоцрвена боја даје боју целој планети. Многе чињенице показују да су ове области суве пустиње покривене прашином или песком минерала *лимонита* ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + n\text{H}_2\text{O}$). Као потврда тога може да послужи и мала *топлотна инерција* ових површина. Наиме, промена температуре између дана и ноћи на истом месту износи 80°C , односно око 3,3 степена по часу. Ова велика промена температуре означава малу топлотну инерцију тла, каква се налази у сувим пешчаним пустињама. Ово такође показује да Марс због прозачне атмосфере има мали ефекат „стаклене баште“.

На Марсу се често запажају тзв. *пешчане буре*. Њих је релативно лако уочити по дифузножутој копрени која делимично, или потпуно, покрије видљиву површину. Таква интензивна пешчана бура запажена је 1956. год. када се на целој површини Марса није видео ниједан детаљ. Овакве буре су запажене и касније. На основи изложеног скоро нема сумње да су светле области пешчане пустиње.



Сл. 89. Марсове велике опозиције

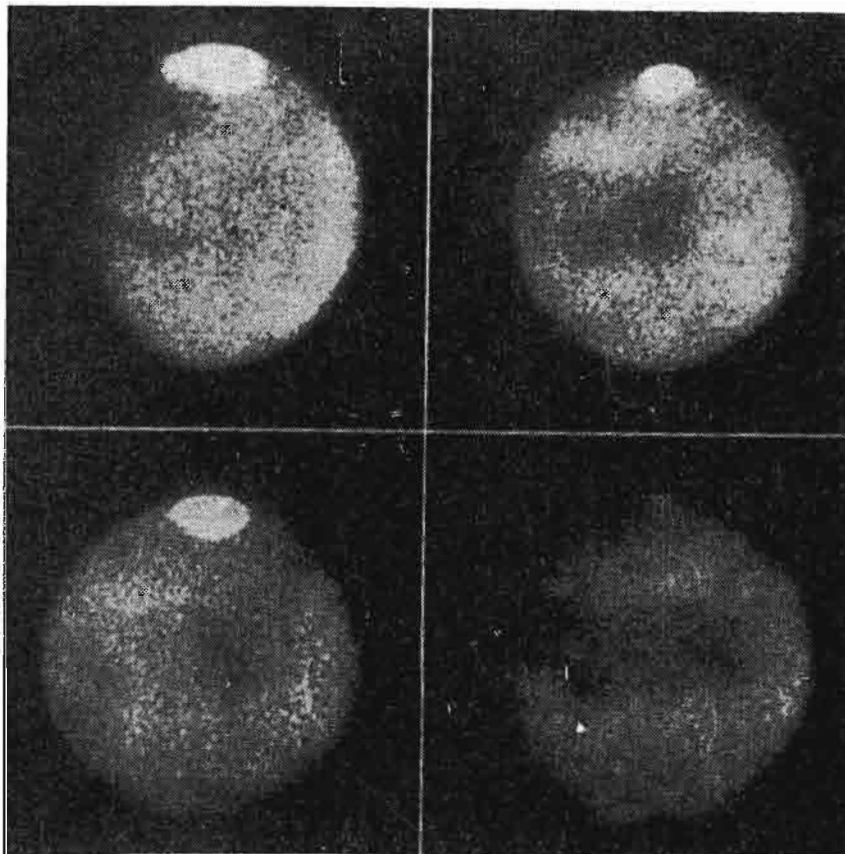
Тамне области су већа загонетка. Њихова боја је зелено-сива, али је карактеристично да им се боја, интензитет и размере мењају са годишњим добима. Заиста је било тешко не поверовати да су тамне области покривене вегетацијом, тим пре што су ове области најинтензивније и најраспрострањеније лети, а смањују се и постају једва видљиве зими. Тамне области су топлије од светлих за око 8°C . Природа ових области се још не зна. Неки сматрају да је у питању примитивно растиње слично лишајевима, мада је заиста мало вероватно да би било која врста биљног покривача издржала сурову климу на Марсу и често засипање пустињским песком.

Средња дневна температура површине је око $+12^{\circ}\text{C}$, а ноћна -70°C . Просечна температура Марсове површине је испод 0°C , па нема текуће воде, она је залеђена у тлу.

Поларне капе су најочљивији детаљи на Марсовој површини. То су беле области које покривају северни и јужни пол и много подсећају на ледене поларне области на Земљи. Њих чине мањим делом лед, а већим залеђени угљен-диоксид. На сл. 90. види се како почетком пролећа ледена капа на јужном полу почиње да се смањује

и лети сасвим ишчезава. На истој слици види се и утицај годишњих доба на тамне области.

Брзина којом се топе поларне капе, уз напомену да Марс добија 2,2 пута мање енергије са Сунца него Земља јер је даљи, показује да ледени покривач на Марсу није дебљи од 1 cm.



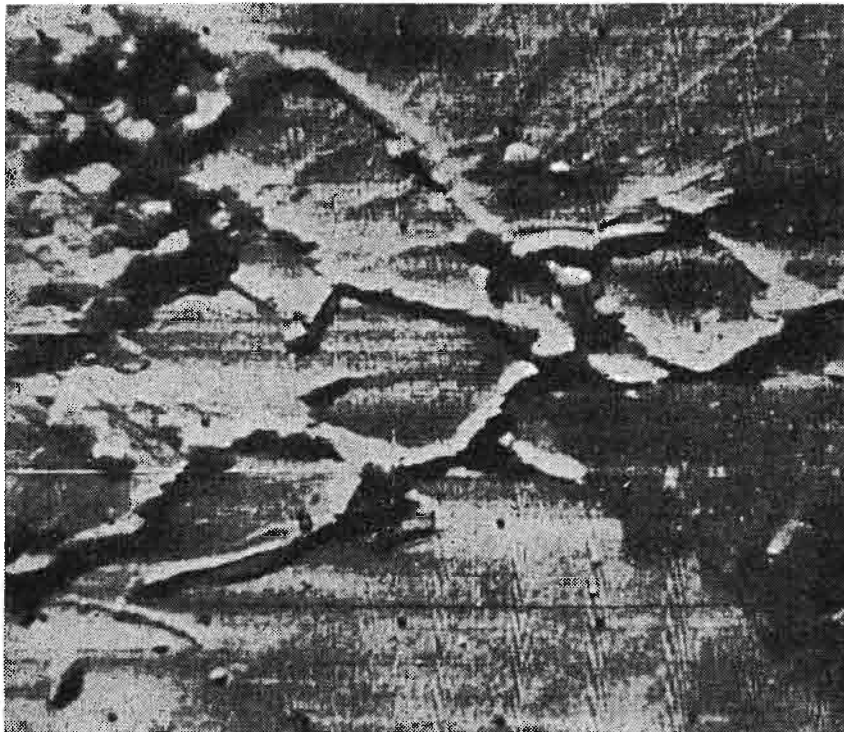
Сл. 90. Промене годишњих доба на Марсу

К а н а л и су једна од старих Марсових загонетки. Још 1877. год. Италијан Скиапарели је нацртао карту Марса са линијама које је назвао *canalli*. Дуга и жестока борба мишљења око постојања ових канала данас је престала „Маринер 9“ је снимио у близини Марсовог екватора систем кањона у дужини од око 4000 km, ширине око 100 km и дубине 5—6 km. Осим овог џиновског система кањона, у једном делу Марсове површине снимљени су вијугави канали и јаруге без воде. Мада после ових снимака постојање канала није спорно (сл. 91.), њихово порекло је још увек највећа загонетка.

Р е љ е ф на Марсу није сличан Земљином. „Маринером“ су снимљени многи кратери слични Месечевим. Осим тога, снимљена су четири џиновска вулкана у екваторској области која су близу један другом. Највећи од њих је *Nix Olympica* (Снегови Олимпа), са висином око 20 km, што далеко превазилази највеће вулкане на Земљи. С обзиром на већу Земљину масу, већу количину радиоактивних елемената, већу температуру и унутрашњи притисак, врло је вероватно да је Земља већ давно прошла ону геолошку фазу коју Марс тек сада пролази. То,

опет, не значи да обе планете морају имати исти пут еволуције, јер није извесно ни да ли су почеле свој развој од материје истог хемијског састава и на истој температури.

Гравитационе аномалије, које потичу од распореда маса, затим локални карактер распореда рељефних облика и др. указују на чињеницу да је асиметрија у распореду маса, изгледа, општа карактеристика планета (код Земље — распоред мора и копна, код Месеца и Марса — асиметрија рељефа, итд.).



Сл. 91. Детаљи Марсове површине који подсећају на риле на Месецу

Марсова атмосфера. Има пуно доказа за постојање Марсове атмосфере. Марс помрачује неку звезду постепено, јер је заклања атмосфером, а затим непровидном планетом. Затим, постоји расејавање рефлектоване светлости на честицама прашине у Марсовој атмосфери и др.

У Марсовој атмосфери виде се беличасти ледени облаци. Они се обично јављају у јесен и зиму у близини поларних капа. Марсова атмосфера је некад више, а некад мање, прозрачна, што зависи од густине гасова и честица прашине у њој. Спектралном анализом је установљено да највећи проценат Марсове атмосфере чини угљен-диоксид. Кисеоника и водене паре има веома мало.

Просечна температура Марсове ниже атмосфере је -70°C , уз велике варијације између дана и ноћи које износе око 100°C .

Очигледно да изванредно мале количине воде и кисеоника, уз ниске температуре са високим дневним осцилацијама, нису баш идеални услови за развој живота на Марсу. Па ипак, у Сунчевом систему Марс је, после Земље, планета са највећом вероватноћом да има, или

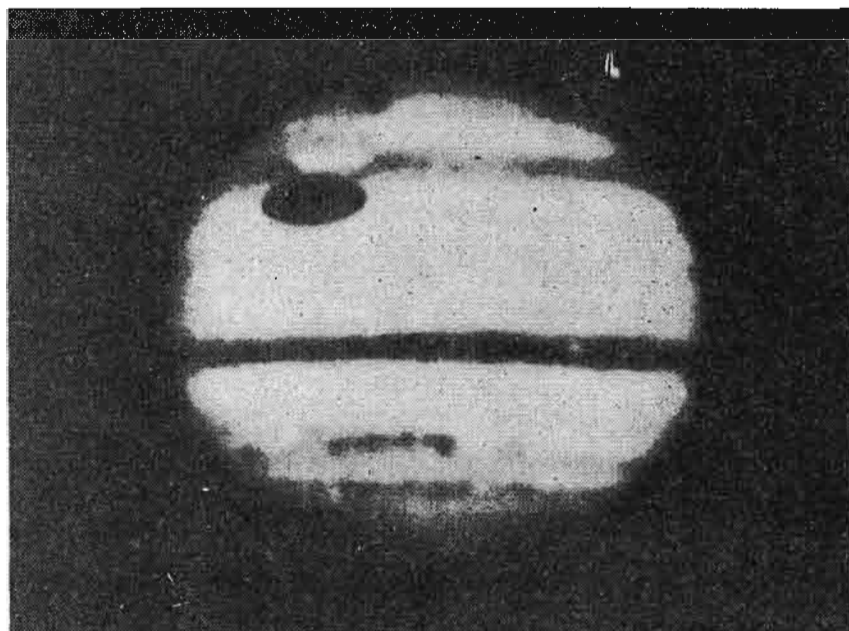
да ће имати живе организме. Не треба заборавити да су пробе песка у Сахари показале да при садржају влаге испод 0,5% постоје облици живота простих организама као што су бактерије.

Најновија истраживања су показала да Марс има јоносферу сличну Земљи. Максимална концентрација електрона је 10^4 до 10^5 cm^{-3} и налази се на 120 km изнад Марсове површине.

Магнетно поље није ништа јаче од поља које испуњава међупланетски простор (10^{-4} гауса). Такође нису регистровани ни радијациони појаси.

Марс има два сателита: Фобос и Дејмос (Страх и Ужас), који имају полупречнике око 8 и 16 km. То су пушта тамна тела неправилних облика.

Плутон. Плутон је најудаљенија планета Сунчевог система. Откривена је тек 1930. год. на основи одступања Урана и Нептуна од њиховог предвиђеног кретања. Астрофизички је готово непозната због велике удаљености. Из истог разлога треба са резервом узети податке из Прилога 5 који се односе на њену масу, полупречник и густину. Постоје индикације да је Плутон знатно мањи од Земље, врло густ и хладан. Неки астрономи претпостављају да Плутон и није планета у правом смислу те речи, већ изгубљени Нептунов сателит. То за сада могу да буду и неосноване претпоставке. Тек новија истраживања треба да дају више података о овој малој планети која се нашла у друштву цинова.



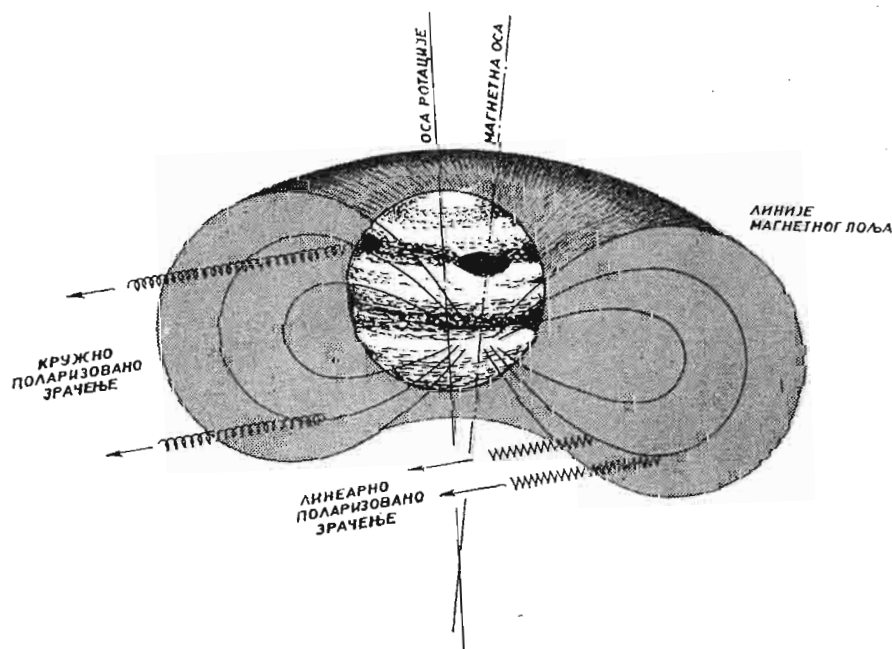
Сл. 92. Јупитер са црвеном пегом

9.2.2. Планете Јупитеровог типа. — Група циновских планета почиње са Јупитером — огромном планетом чија је маса већа од масе свих осталих планета Сунчевог система. Затим долази нешто мањи Сатурн и још мање планете — Уран и Нептун. Ове планете ни по чему не личе на претходно описану групу планета Земљиног типа. Све планете овог типа окружене су густим, пространим атмосферама.

Јупитер. Јупитер је највећа планета и по димензијама и по маси. То је и један од најлепших објеката на небу када се посматра телескопом. На њему се виде разнобојне траке од црвене до плавобеле боје, а такође и светле и тамне пеге. Један детаљ је нарочито карактеристичан за ову планету. Још 1878. год., кад је први пут примећена, на Јупитеру се види овална форма, тзв. *Црвена пег* (сл. 92.). Ова пег има површину од око $4 \times 10^8 \text{ km}^2$. Постоји много хипотеза о природи велике Црвене пеге, али ни једно потпуно задовољавајуће објашњење.

Густа Јупитерова атмосфера не ротира као чврсто тело. Делови на разним удаљеностима од екватора ротирају различитим брзинама и то најбрже на екватору, а спорије према половима. Период ротације на екватору износи $9^{\text{h}} 50^{\text{m}}$. Последица брзе ротације је знатна спљоштеност планете. Основни орбитски и физички параметри наведени су у Прилогу 5. Средња густина $\rho = 1,33 \text{ g/cm}^3$ показује да спољашњи делови планете морају бити мање густине, јер се највећи део масе налази у густо збијеном језгру под великим притиском.

Спектрална анализа је показала да су основни гасови у Јупитеровој атмосфери молекулски водоник (H_2) и хелијум (He), а затим неон (Ne), метан (CH_4) и амонијак (NH_3), док се угљен-диоксид (CO_2) налази у изузетно малој количини.



Сл. 93. Јупитерово магнетно поље и радијациони појаси

Температура на Јупитеру је ниска, око -130°C .

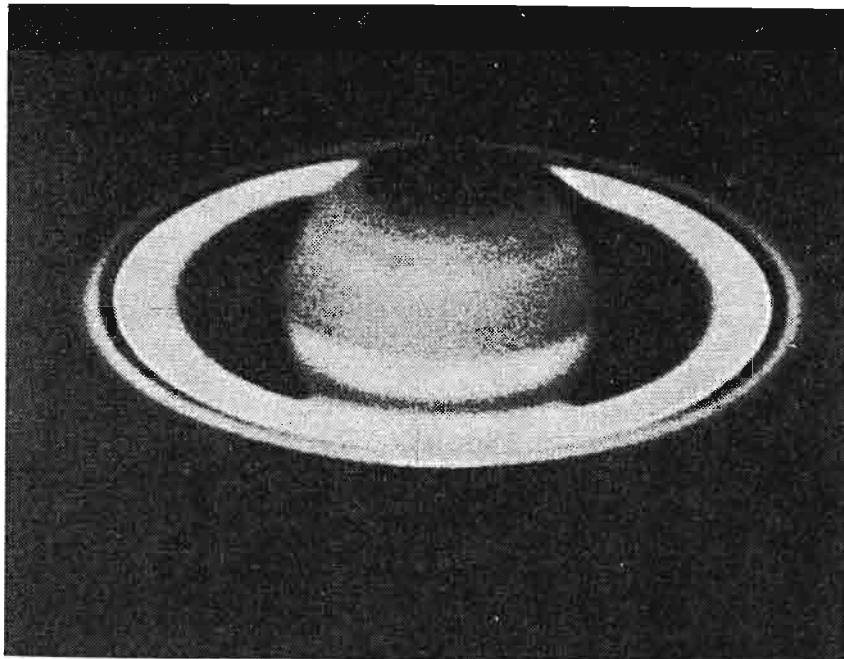
Године 1955. откривено је да Јупитер интензивно зрачи радиоталасе. По овој особини Јупитер се разликује од свих осталих планета. Осим тога, пронађено је да има јако сопствено магнетно поље — десет пута јаче од Земљиног и да има радијационе појасе (сл. 93).

Да би се боље проучиле физичке карактеристике ове удаљене планете, послата је летилица „Пионир 10“, која је 3. децембра 1973. год. успешно стигла у близину Јупитера и послала на Земљу низ информација о њему. Она наставља свој пут према спољашњим деловима нашег планетског система. У близину Урана доћи ће 1980. год., одакле ће, ако све буде добро функционисало, послати последње информације, а затим ће напустити наш планетски систем.

Јупитер има тринаест сателита. Од њих су боље проучена четири велика, тзв. галилејевска сателита³⁴.

Сатурн. Сатурн је велика планета која личи на Јупитер, али је још више удаљена и зато мање доступна посматрањима. Специфичност која карактерише ову планету је огромни спљоштен прстен који је окружује. Друга карактеристика ове планете је њена изузетно мала средња густина — $0,69 \text{ g/cm}^3$. Сатурн је хладнији од Јупитера. Његова температура је око -150°C . На тако ниској температури амонијак је замрзнут, па се у атмосфери могу регистровати само молекулски водоник и метан. На Сатурну се теже запажају детаљи него на Јупитеру, али је ипак било могуће да се одреди његова ротација (Прилог 5).

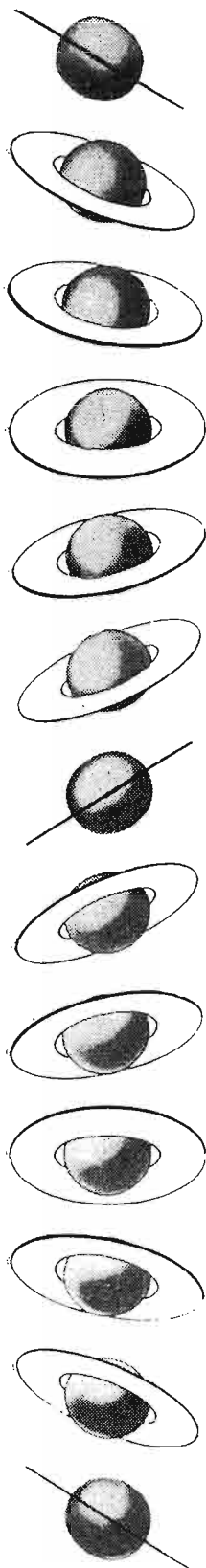
Сатурнов прстен има сложену грађу. Може се рећи да се састоји од четири концентрична прстена различитог сјаја (сл. 94).



Сл. 94. Сатурн са прстеном

Посматрач са Земље има прилике да види овај прстен под разним угловима, у зависности од положаја Земље и Сатурна (сл. 95).

³⁴ Ове сателите открио је Галилеј још 1610. год. Они су послужили за одређивање брзине светлости и географских дужина.



Сл. 95. Различити положаји Сатурна и његовог прстена према Земљи

Када се Земља нађе у равни прстена, онда га види „с ребра“. У ствари, тада прстен постаје невидљив због мале дебљине (свега 20—40 km).

Установљено је да се Сатурнов прстен састоји од мноштва независних честица које се крећу, по Кеплеровим законима, као самостални сателити. Њихови пречници су од неколико центиметара до неколико метара.

Сатурн има десет сателита. Међу њима је највећи Титан ($r = 2400$ km). Он има атмосферу.

Уран и Нептун. Уран и Нептун су планете чије физичке карактеристике природно носе последице велике удаљености од Сунца. Њихово топлотно зрачење је толико слабо да се не може измерити. Зато им је температура одређена теоријски: — 170°C и — 200°C. Атмосфере су им сличне Јупитеровој. Највише су заступљени гасови метан и водоник. Обе планете ротирају великим брзинама (Прилог 5).

Уран има пет сателита који се крећу у равни планетског екватора. Нептун има два сателита. Већи *Тритон* (полупречник око 2000 km) има атмосферу и ротира у супротном смеру од планете. Ово даје основу за веровање да је Тритон захваћен Нептуновом гравитацијом, а да нема заједничко порекло са планетом.

ПИТАЊА

1. Које су основне карактеристике планета Земљиног типа?
2. Која планета, осим Земље, има јоносферу, а која магнетско поље и радијационе појасе?
3. Колика је површинска температура Венере? Објаснити појаву.
4. Које планете вероватно имају првобитну атмосферу? Зашто?
5. Каква је природа Сатурновог прстена?
6. У чему је специфичност Венерине ротације?
7. Описати сезонске промене на Марсовој површини.
8. Побројати познате сателите великих планета.

ГЛАВА ДЕСЕТА

ОСТАЛИ ЧЛАНОВИ СУНЧЕВОГ СИСТЕМА

Осим девет великих планета, њихових сателита и малих планета (астероида), Сунчевом систему припадају још: *комете* и *метеори*. Сва ова тела крећу се кроз *међупланетски простор* који се нарочито интензивно проучава последњих година.

10.1. Комете. — Комете су необична небеска тела која постају видљива тек кад се приближе Сунцу. Неке комете су тада видљиве и голим оком, па је њихова појава већ столећима изазивала не само посебан интерес већ и страх. У молитвама старих народа молило се за избављење од чуме и комета. Комете се, по изгледу и кретању, толико разликују од осталих небеских тела да се све до краја XVI века сматрало да су оне земаљска — атмосферска појава.

Сваку комету можемо пратити само на малом делу њене путање док се налази у близини Сунца и Земље.

На комети разликујемо средишно згушњење, које је обично сјајније и назива се *језгро* комете, и маглину, која га окружује и назива се *кома*. Језгро и кома заједно чине кометину *главу*, која је главни део сваке комете. Глава комете има у пречнику 50000—20000 km. Из кометине главе продужује се магличасти прамен који се назива *кометин реп*, а може да буде разних облика и величина.

Комете се крећу по издуженим елиптичним или параболичним путањама око Сунца. Откривају се на 2—3 А. Ј., па се даље прате телескопом или визуелно. Што су ближе Сунцу, комете брже мењају свој облик. То је једна од њихових основних карактеристика. Кометин реп лежи у равни кометине путање и увек је окренут на супротну страну од Сунца (сл. 96). Када комета прође перихел, она почиње полако да се „гаси“, реп јој се смањује и ишчезава, и удаљујући се она постаје магличаст објект који се после растојања од 6 А. Ј. више не може регистровати ни најјачим расположивим инструментима.

Комете нису ретка појава. Сваке године се телескопом могу посматрати 6—10 комета. Оне се, најчешће, појављују неочекивано и за астронома. По облику путање, комете делимо на периодичне и непериодичне. Периода обиласка ових комета око Сунца може бити неколико хиљада година, а и сасвим кратка — око три године. Од 600 до сада проучених комета око 100 има периоде краће од 200 год. Све периодичне комете припадају Сунчевом систему.



Сл. 96. Комета

Једна од најпознатијих је Халејева комета, која има периоду око 77 год. Она је запажена 1682. год. као врло сјајна комета. На основи елемената путање Халеј је предвидео њено поново појављивање 1759. год. Када се ово потврдило, израчунато је уназад када се ова комета јављала. Тако је откривено да су први подаци о њој забележени још 239. год. пре н.е. Ова прва позната периодична комета појавила се последњи пут 1910. год. Следеће њено појављивање очекује се 1986. год.

Од комета са кратком периодом најпознатија је Енкеова комета. Она је откривена 1786. год. и има периоду 3,3 год.

Комете су највећа тела нашег система, али имају изузетно малу масу. Због тога су то тела необично мале густине. Њихова

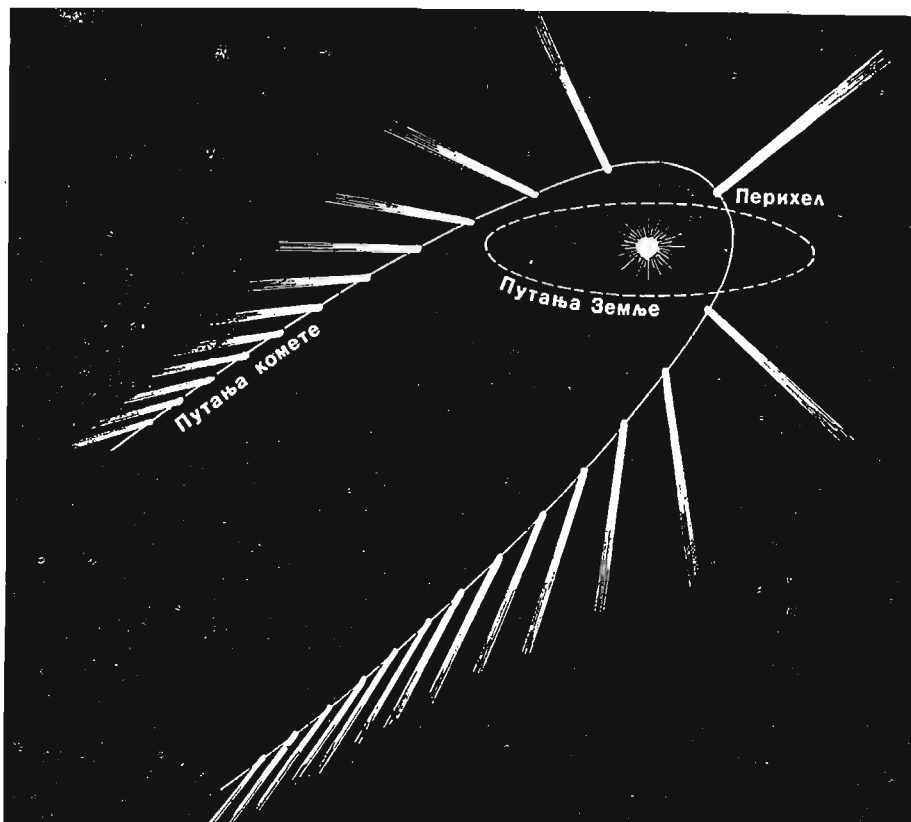
маса се одређује посредно. Запажено је да ниједна комета, ма колико близу да је прошла, није изазвала поремећаје ни у кретању планета ни њихових пратилаца. Земља је пролазила кроз репове комета без икаквих видних ефеката. Због тога се сматра да је горња граница за масу комете 10^{-6} Земљине масе, тј. 6×10^{21} g.

О природи комета данас знамо више него раније, али је још увек отворено питање њиховог порекла. Језгро комете чини конгломерат залеђених гасова: амонијака (NH_3), воде (H_2O) и, вероватно, метана (CH_4) у комбинацији са честицама прашине. Са приближавањем Сунцу ова „снежна грудва“ почиње да испарава и образује магличасту атмосферу гасова и прашине — кому, која се касније издужује у реп. Кометин реп настаје под дејством честица и зрачења са Сунца. Сунце јонизује молекуле из коме који затим, једним сложеним механизмом, образују јонизован кометин реп. Притисак Сунчевог зрачења делује на честице прашине из коме и оне бивају „одуване“ на супротну страну од Сунца. Што је комета ближе Сунцу, то је њен реп дужи (сл. 97).

Није познат механизам помоћу кога комета може да попуни масу коју изгуби формирајући реп и коју даље остави расејану дуж путање. То значи да комета има коначан живот. Количина масе у језгру

се прогресивно смањује. Запажено је смањивање масе нарочито код краткопериодичних комета.

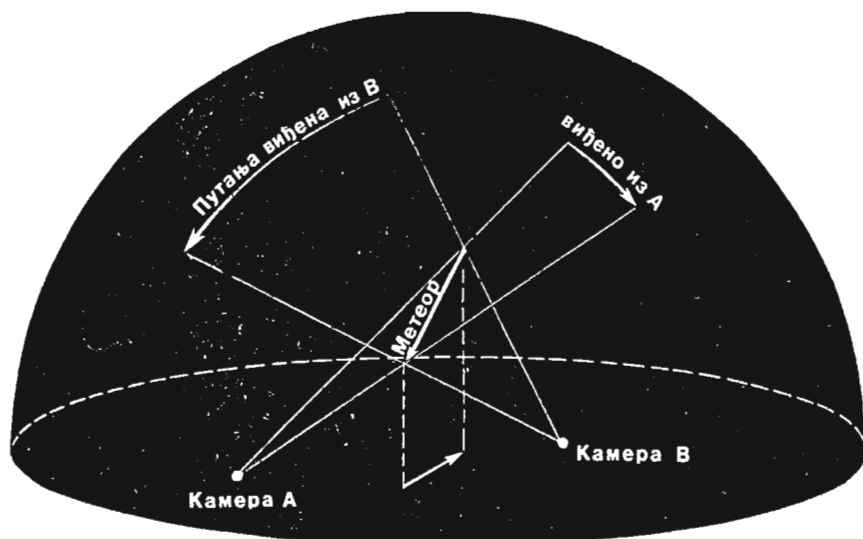
Крај живота комете не значи потпуно ишчезавање њеног материјала. Расејани материјал који је остао (крупније и ситније честице) продужује да се креће по истој орбити, само више не светли. Примећује се само ако Земља пресече такву орбиту. Тада се манифестује као *метеорски пљусак*. Ако се остаци комете равномерно растуре по орбити, онда је комета заиста престала да постоји као небеско тело.



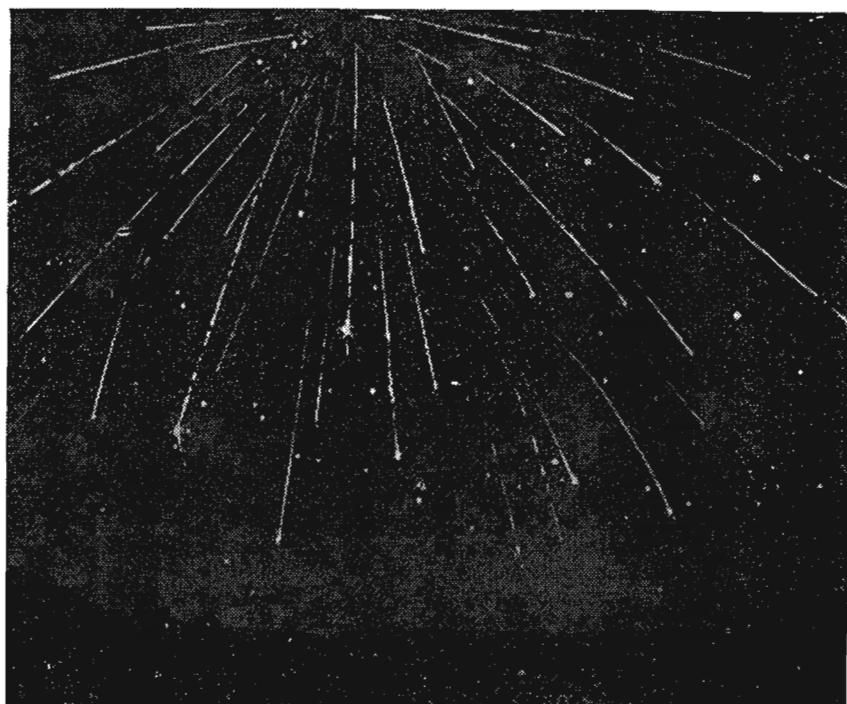
Сл. 97. Репови комете су увек окренути од Сунца

10.2. Метеори и метеорити. — У међупланетском простору, у близини Земље, креће се велики број малих тамних тела за које и не знамо да постоје јер их не видимо. Када на своме путу Земља наиђе на њих, они великом брзином улазе у Земљину атмосферу, усијавају се због отпора ваздуха и сагоревају пре него што стигну до Земљине површине. То су метеори. Ми о њима сазнајемо по краткотрајном бљеску. Метеор најчешће постаје видљив на висини око 120 km, а гаси се на око 70 km изнад Земљине површине. Метеори су тела малих димензија (0,1 mm — 10 cm), која улећу у Земљину атмосферу брзином 10—80 km/s. Атмосфера пружа велики отпор кретању метеора. Они губе део своје кинетичке енергије која прелази у топлоту, загрева метеорско тело и околни ваздух. Као резултат овог наглог загревања долази до усијавања метеора до око 2500°C. Он испарава, губи део своје масе и светли све док не сагори на своме путу. Том приликом делимично јонизује ваздух око себе.

Метеори се прате оптичким и радио-методама. Истовременим посматрањем из две тачке *A* и *B* (сл. 98.), које су на одређеном растојању (обично на око 50 km), одређује се њихова пројекција на небеску сферу, одакле се израчунава висина на којој се метеор јавио (засветлио) и на којој се угасио.



Сл. 98. Оптичко праћење метеора

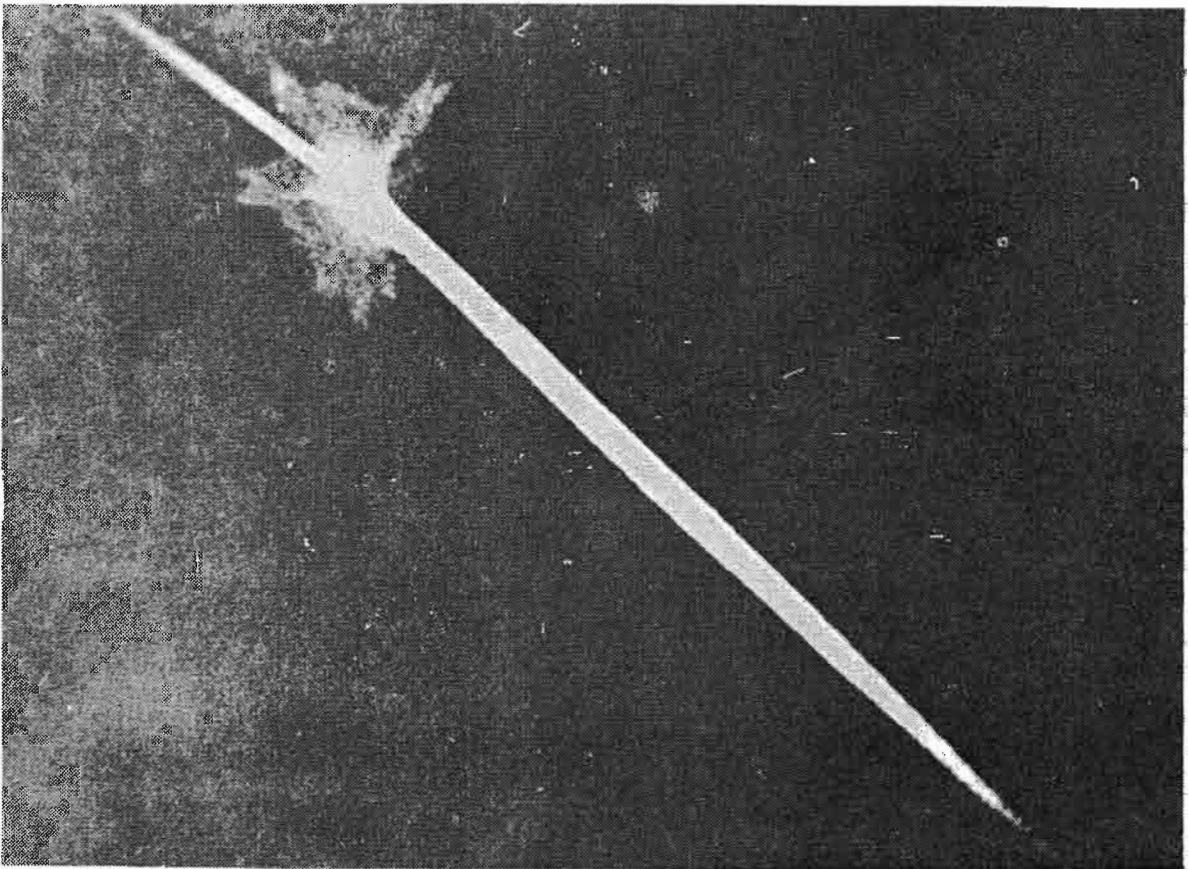


Сл. 99. Метеорски рој

У току ведрих ноћи без месечине види се око четири до шест метеора на час. Овај број је знатно већи када Земља на свом путу наиђе на метеорски рој. Мада се сви метеори у роју крећу по паралелним путањама, због ефекта перспективе нама изгледа као да долазе из једне тачке (сл. 99). Ова тачка се назива *радијант*. Два позната метеорска

роја су Персеиди и Леониди. Имена су добила према сазвежђима у којима се види радијант. Они се виде сваке године у одређене дане. Персеиди се јављају сваког лета од 10. до 12. августа, а Леониди у касну јесен — 16. до 17. новембра. Пошто се метеорски ројеви јављају периодично у одређене дане у години, очигледно је да се они крећу око Сунца по затвореним путањама, које Земља пресеца увек на истом месту своје путање. Ако су метеори више или мање *равномерно* расподељени по путањи, онда ће Земља сваке године срести приближно исти број метеора; тако је код Персеида. Напротив, код Леонида постоји згушњење у једном делу путање са којим се Земља сретне сваких 33—34 год. Тада долази до изузетно лепе и атрактивне појаве на небу која се назива *метеорски пљусак*. Метеори падају кроз атмосферу у потпуној тишини као многобројне светле пахуљице, али ни једна не стиже на површину Земље.

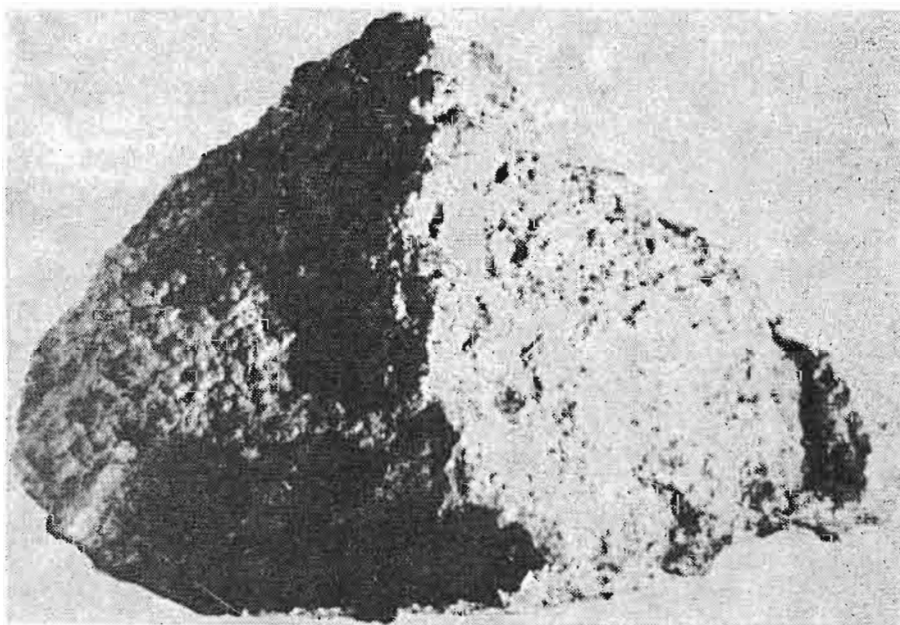
Метеорски ројеви настали су из комета и крећу се по путањи по којој се кретала комета. Последња фаза у растурању честица комете је хомоген елиптични метеорски прстен. На кретање метеорских ројева делује гравитација планета, која може знатно да измени њихове путање. Мада спектри метеора показују да се они углавном састоје од



Сл. 100. Болид

гвожђа, магнезијума и силикона, њихова просечна густина је $0,5 \text{ g/cm}^3$, они су растреситог материјала који се дроби под прстима. Када овакво тело уђе у Земљину атмосферу, оно се под дејством трења растура, усијава и испарава. Ако нешто од метеора уопште и стигне на Земљу, онда је то само фина прашина.

А шта су она велика тела која изгледају као огромне огњене лопте, често личе на пун Месец и пролазе кроз атмосферу уз тутњаву и грмљавину? Ова тела се називају *болиди* (сл. 100). Бука коју стварају потиче од сабијања и треперења ваздуха испред болида. Они могу да буду тако сјајни да се лепо виде голим оком усред дана; маса им је око десет килограма. Болиди се такође усијавају пролазећи кроз атмосферу, само они не стигну да изгоре, већ се најчешће дробе и падају на Земљу као *метеорити* (сл. 101). Метеорити падају у океане и на копно. Данас се зна за око 1600 метеорита од којих је половина нађена случајно, а половина као резултат тражења после примећеног пада. Метеорити се, по саставу, деле на: гвоздене, гвоздено-камене и камене. Највећи проценат је камених метеорита, али их је тешко разликовати од земаљског камења. Хемијски састав метеорита помаже да се установи структура тела која припадају Сунчевом систему.



Сл. 101. Метеорит

Већ смо рекли да се мало зна о унутрашњости Земље и осталих планета. Како су болиди знатних размера и маса, они, вероватно, не потичу од комета, већ од астероида који су скренули са своје путање. Испитивање метеорита омогућује нам да утврдимо хемијски састав и физичке услове у унутрашњости астероида који се распао.

Огромна кинетичка енергија великих метеорита изазива низ појава на месту пада на Земљиној површини. Осим заглашујуће буке и огромних кратера, дешавало се да је шума сагорела и полегла на огромном простору, да су усред ноћи могле да се читају новине, да су сезимолошки инструменти бележили потрес на великим растојањима од места пада, итд.

Изузетно велики метеорити су обично гвоздени. Неки од њих нису пронађени ни после врло пажљивог истраживања, тако да само кратер и пустош коју су направили показују место пада (нпр. Тунгуски

метеорит који је пао у Сибиру 1908. год.). Међу највеће метеорите спадају Баринџер у Аризони (пао 5000. год. пре н.е.) и Сихоте—Алински (пао на Далеком истоку 1947). И наши музеји имају збирке метеорита нађених на територији Југославије.

10.3. Међупланетска материја. — И пре него што су се вршила директна мерења помоћу ракета и сателита, претпостављало се да међупланетски простор у коме се крећу планете и остали чланови Сунчевог система није идеално празан. Знамо да кометски репови растурају у међупланетски простор тоне гасова и честица прашине сваке секунде. Затим, доказано је да број метеора нагло расте са опадањем њихових димензија. То нас уверава да мора постојати огроман број малих метеорских тела, тако малих да им више одговара назив метеорска прашина.

Директна мерења су потврдила претпоставку да су микроскопске честице врло обилне у међупланетском простору. Најзад, та се прашина може наћи у атмосфери, на копну, на поларним леденим површинама и у океанима.

Микрометеорити су врло мале честице које могу проћи кроз Земљину атмосферу без већих промена. Да се микрометеорит услед трења не би растопио, потребно је да максимална температура при проласку кроз атмосферу буде нижа од температуре његовог топљења. Према различитим тачкама топљења материјала, за разне упадне брзине, могу се израчунати димензије честица које ће доспети до површине Земље, а да се при том не истопа у атмосфери. Рачуни показују да су најчешћи пречници ових честица од 2—20 микрона. Било је случајева да су микрометеорити засипали палубу неког брода на океану или да је необична „прашина“ падала заједно са кишом или снегом. Испитивање узорака те „прашине“ показало је да она има метеорско порекло.

Зодијачка светлост се може посматрати на небу у ведрим тамним ноћима као нагнут стуб слабог сјаја. Ова светла трака протеже се дуж еклипти-



Сл. 102. Зодијачка светлост

ке преко зодијачких сазвежђа због чега је и добила име *зодијачка светлост*. У тропским земљама, где еклиптика увек заклапа са хоризонтом велики угао, зодијачка светлост је скоро исто сјајна као Млечни Пут (сл. 102).

Природу ове појаве било је врло тешко проучавати, јер због слабог сјаја захтева изузетно тамно небо. Данас се зна да је то Сунчева светлост расејана на честицама међупланетског простора. О хемијском саставу тих честица знамо врло мало или ништа. Само мали део ових честица чине електрони из Сунчеве короне, који на растојању 1 А.Ј. имају концентрацију од 1 до 10 честица по cm^3 .

Сунчев ветар је још једно ново откриће и успех астронаутичке астрономије. Сваког тренутка наелектрисане честице и магнетно поље напуштају Сунце и крећу се брзином од око 400 km/s испуњавајући међупланетски простор. *Сунчев ветар* деформише Земљину магнетосферу образујући на супротној страни од Сунца реп сличан кометским реповима (сл. 57). И у формирању кометских репова Сунчев ветар има значајну улогу.

После свега реченог јасно је да међупланетски простор није празан.

ПИТАЊА

1. Коју периодичну комету знате? Колика је периода њене револуције?
2. Шта је радијант метеорског пљуска?
3. Како се деле метеорити по хемијском саставу?
4. Шта је зодијачка светлост?
5. Дефинисати прецизно значење речи: метеор, метеорит, болид.

ГЛАВА ЈЕДАНАЕСТА

СУНЦЕ

11. 1. Опште карактеристике. — Сунце је једина звезда Сунчевог система, нама најближа, најбоље проучена и представља извор топлоте, светлости и живота на Земљи. Геофизичари, инжењери, лекари, биолози, хемичари и многи други проучавају Сунце и његово зрачење. За астронома је Сунце једна од првих загонетки природе коју је почео да решава још у старом веку.

Сунце је типична звезда, па данашњем астроному резултати његовог проучавања помажу да схвати природу других далеких звезда које се виде само као светле тачке, чак и помоћу најјачих телескопа.

Сунце је усијана гасовита лопта која зрачи сопствену енергију. Укупан износ те енергије може се израчунати на основи енергије коју прими од Сунца 1 cm^2 Земљине површине за 1 минут. Ако је та површина нормална на правац Сунчевих зракова и ако се обрачуна атмосферска апсорпција, добија се енергија од 1,94 калорије. Ова величина се назива *Сунчева константа*. Ако помножимо Сунчеву константу мерним бројем површине сфере чији је полупречник средња даљина Земље до Сунца ($1 \text{ А. Ј.} = 149,6 \times 10^6 \text{ km}$), добићемо енергију коју Сунце израчи у свим правцима у једној минути. То је укупна енергија Сунчевог зрачења и она износи $5,43 \times 10^{27} \text{ cal/min}$, или $3,86 \times 10^{33} \text{ erg/sec}$. или 5×10^{23} коњских снага. Тешко је замислити ту огромну енергију. Ако би ледени мост дебљине 3 km повезивао Земљу са Сунцем, па ако би се кроз тај мост пропустила Сунчева енергија, мост би се за једну секунду истопио.

Знајући Сунчеву даљину (1 А. Ј.) и његов привидни пречник³⁵ у угловним јединицама ($\frac{1}{2}^\circ$), лако је израчунати Сунчеве димензије. Пречник му је 109 пута већи од Земљиног.

Из односа масе и запремине добија се да је средња густина Сунца $\rho_{\odot} = 1,4 \text{ g/cm}^3$, што је много мања вредност од Земљине густине. Мала вредност густине показује да Сунце није чврсто тело. На такав закључак нас наводе и друге чињенице; пре свега висока температура. Из познатих закона зрачења црног тела и димензија Сунца може се израчунати температура Сунчеве површине. Она износи око 6000°C .

Необичан је карактер Сунчеве ротације. Мада кажемо да Сунце као тело изврши једну ротацију за 27 дана, у ствари разни делови по-

³⁵ Привидни Сунчев пречник назива се угао под којим посматрач види Сунчев пречник.

вршине ротирају различитом брзином. Тако, тачке у близини екватора изврше једну ротацију за 25 дана, а тачке на Сунчевој ширини већој од 60° за 30 дана. Према томе, брзина обртања опада од екватора ка половима. Узрок ове појаве још није објашњен.

Због мале густине, високе температуре и неједнаке брзине ротације очигледно је да Сунце није чврсто тело.

С космичког гледишта, Сунце припада звездама које се најспорије обрћу. Његова линијска брзина ротације на екватору износи свега 2 km/sec. Ротација није једина врста Сунчевог кретања. О томе ће се више говорити у дванаестој глави.

О хемијском саставу Сунца закључујемо на основи спектралне анализе. На Сунцу нема елемената који су непознати на Земљи. Основни елементи су водоник и хелијум. Они чине око 99% Сунчеве материје. Остали елементи: кисеоник, азот, угљеник, гвожђе, калцијум и др. налазе се у врло малим количинама. Ма како једноставно данас изгледало, не треба заборавити да је од проналаска спектралне анализе прошло око сто година, а да су проблеми Сунчевог хемијског састава решени тек пре око 30 година. О овоме ћемо говорити нешто касније. Да поменемо, такође, да је хелијум најпре откривен на Сунцу (1868), по коме је оно и добило име (Хелиос на грчком значи Сунце), а тек 25 година касније хемичари су овај елемент открили и на Земљи.

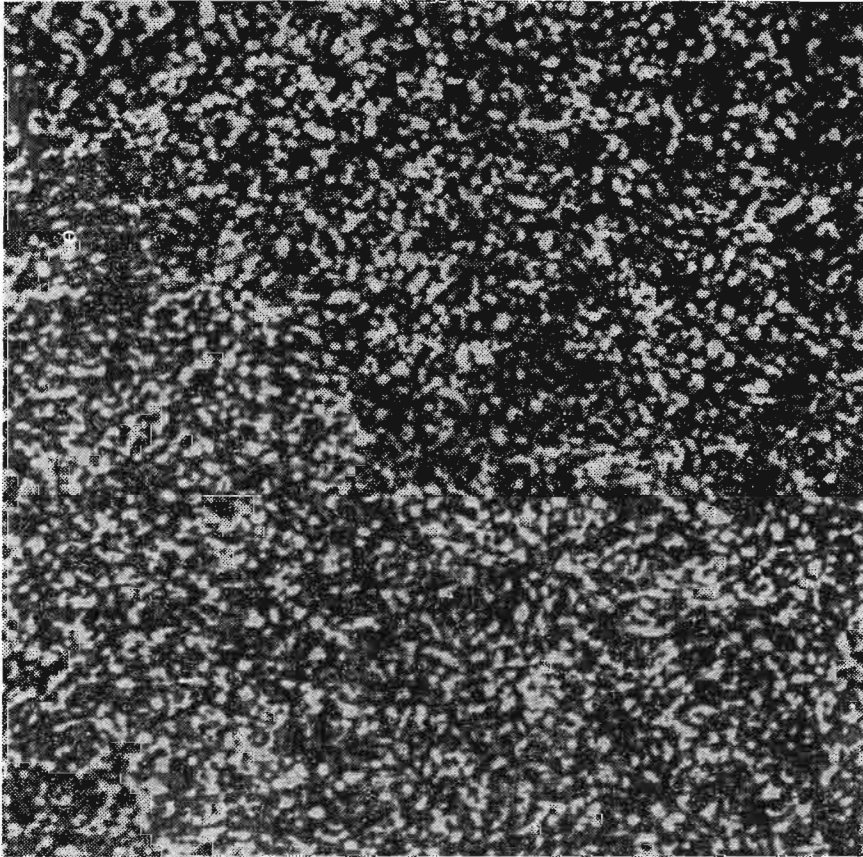
11. 2. Сунчева грађа. — Сунце се састоји од три гасовита омотача: *фотосфере, хромосфере, короне и унутрашњости* где се налазе извори енергије.

Фотосфера, или светлосна сфера (од грчког фотос — светлост), је астрономско име за врло сјајан Сунчев диск који може да се види и голим оком. Она представља први Сунчев омотач (Сунце увек треба посматрати кроз нагарављено стакло или кроз специјалне уређаје, јер бљештава светлост фотосфере може знатно да оштети вид.) Фотосфера је површински слој знатне густине и непровидан, тако да посматрачи са Земље не могу видети дубље слојеве испод ње. Светлост фотосфере се делимично апсорбује пролазећи кроз Сунчеве омотаче, па се услед тога на непрекидном спектру фотосфере види велики број тамних апсорпционих линија. То су *Фраунхоферове линије*, назване тако по немачком научнику који их је открио. Температура фотосфере је нешто нижа од 6000°C . То је управо она температура коју можемо израчунати помоћу Сунчеве константе. У ствари, температура фотосфере се мења са дужином, што је приказано на следећој табели:

Дубина у km	12	21	31	41	48	60
Температура	4900°	5000°	5300°	6100°	6800°	7400°

Треба нагласити да емисиони спектар фотосфере потиче из читавог слоја дебљине око 300 km, а не као са површине неког огледала. Фотосфера и није тако монолитна као што изгледа када се посматра

голим оком. Посматрана кроз телескоп фотосфера је зрнасте структуре (сл. 103) и личи на кашу од пиринча која кључа. Светле грануле су млазеви подфотосферске материје која избија на површину, остаје ту неколико минута, хлади се и враћа у дубље слојеве, а нове светле грануле избијају на површину. Грануле су пречника око 1500 km и „живе“ око 5 минута. Добре слике фотосферске гранулације могу се добити само када је Земљина атмосфера мирна или још боље ако се снима изван атмосфере. Иначе се добијају нејасни снимци на којима се појединости слабо виде. Рекли смо да је фотосфера најгушћи Сунчев омотач. Она је ипак много ређа од Земљине атмосфере.

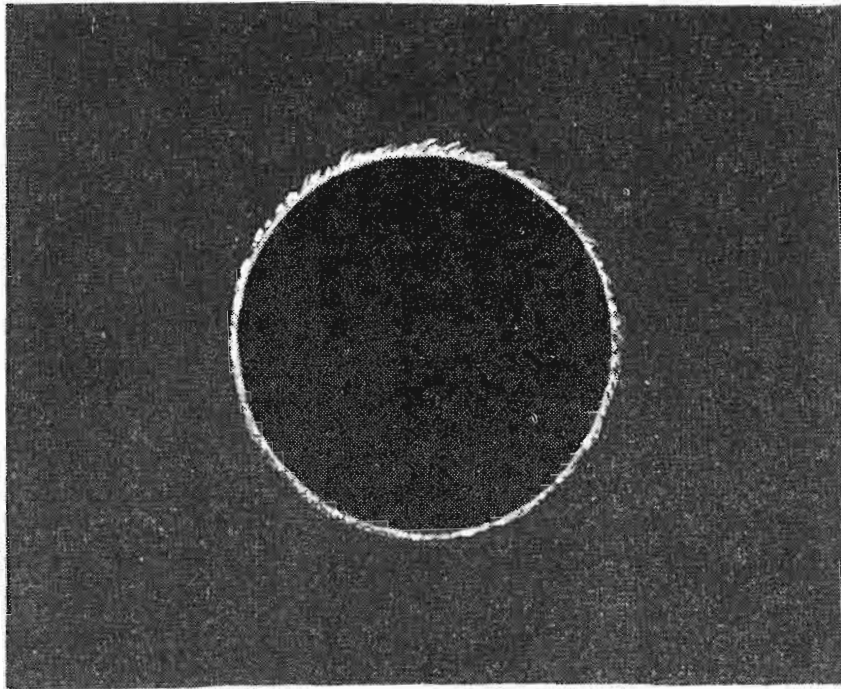


Сл. 103. Грануларна структура мирне фотосфере

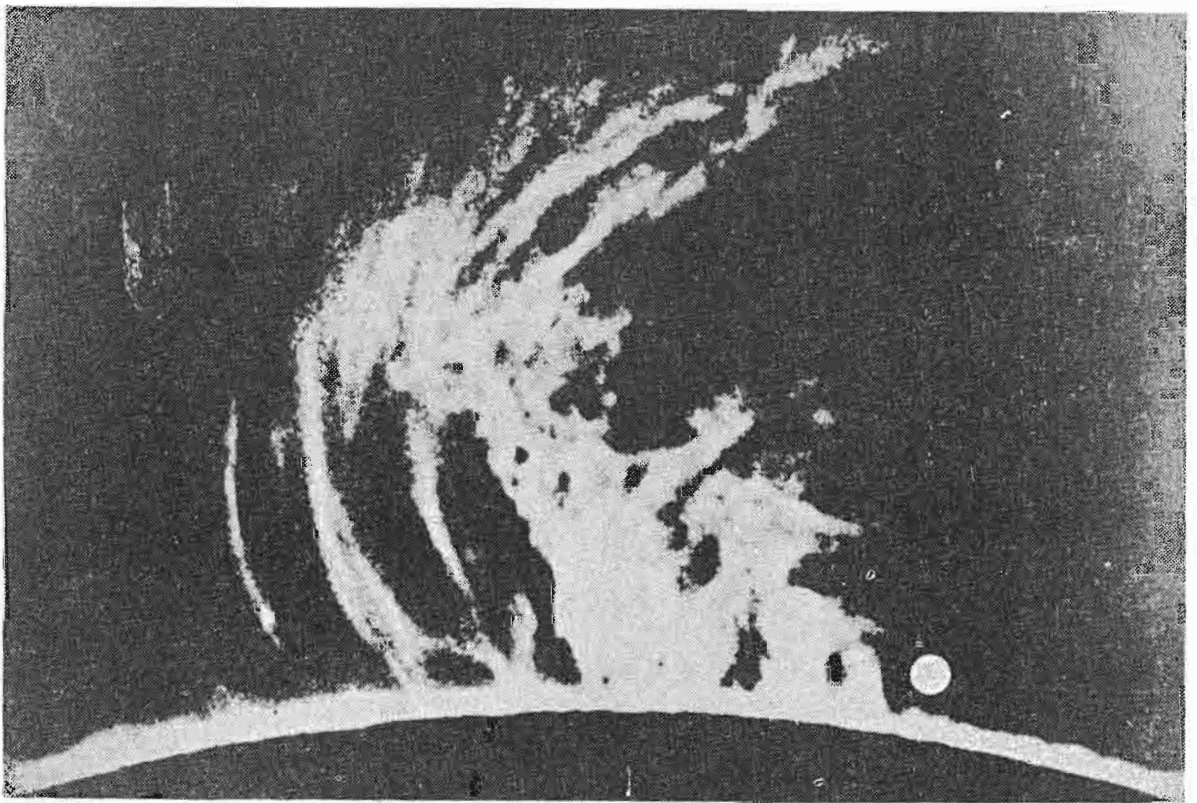
Остала два Сунчева омотача су још ређа, тако да ми кроз њих гледамо фотосферу као кроз чисто прозачно стакло.

Хромосфера, или обојена сфера (од грчког хромос — боја), је други Сунчев омотач. Налази се одмах изнад фотосфере и за њено посматрање су потребни посебни услови и инструменти, иначе се не види. Хромосфера се може посматрати или за време Сунчевих потпуних помрачења када Месец закљони бљештаву фотосферу, или помоћу нарочитих монохроматских филтара. Хромосфера не емитује белу светлост, већ само неколико карактеристичних линија у ултраљубичастој, љубичастој, црвеној и радиофреквентној области спектра. Од ових линија најјаче су линије водоника (црвена) и калцијума (љубичаста). Због тога се снимци хромосфере праве у једној од ових боја.

На сл. 104 видимо део хромосфере снимљен у водониковој црвеној боји. Пада у очи да је овај слој врло динамичан. И заиста, у хромосфери су врло интензивна турбулентна кретања, а такође и вертикална, која се боље виде на сл 105.



Сл. 104. Сунчева хромосфера



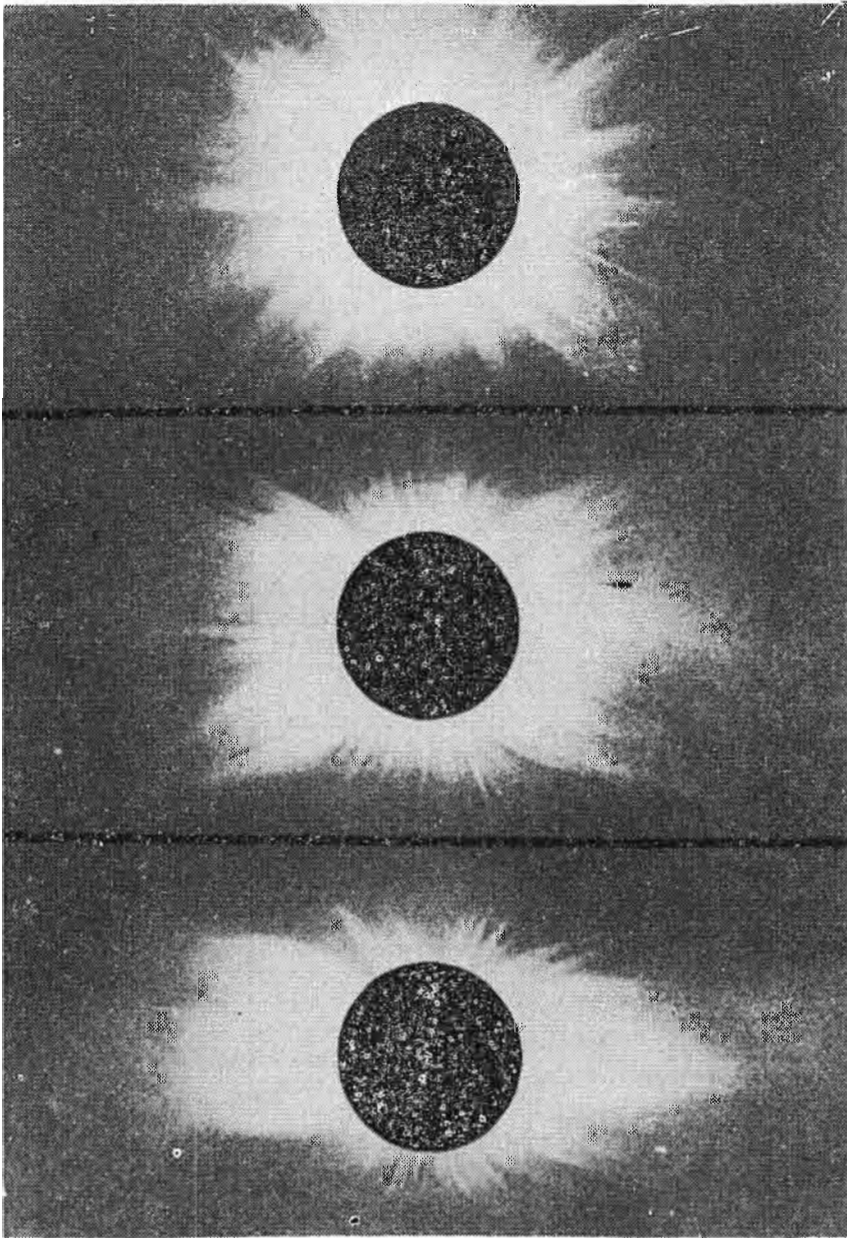
Сл. 105. Сунчева хромосфера са протуберанцама

Неки астрономи су истицали да их хромосфера, својим црвеним пламеним језицима који никад не мирују, подсећа на запаљену прерију.

Заиста је тешко одговорити на питање колика је дебљина хромосфере, јер њена горња граница на разним висинама прелази у следећи омотач.

Корона је спољашњи Сунчев омотач који је толико разређен и тако слабог сјаја³⁶ да се може посматрати само када се заклони бљештава фотосфера.

Раније је корона посматрана само за време потпуних Сунчевих помрачења — сл. 106. Због различитих узајамних положаја Сунца, Месеца и Земље ова помрачења, која за једно место нису честа, виде се са



Сл. 106. Сунчева корона

³⁶ Сјај короне је око сто милиона пута слабији од сјаја фотосфере.

разних делова Земљине површине. Због тога су астрономи морали да путују у врло удаљене крајеве света и дуго да се припремају за посматрање короне, а дешавало се да баш у тренутку помрачења наиђе облак, заклони Сунце и све припреме пропадну, па има врло мало успешних снимака короне за време потпуних Сунчевих помрачења. Проналаском (1930. год.) инструмента *коронографа* омогућено је посматрање и снимање короне ван Сунчевих потпуних помрачења, сваког ведрог дана.

Корона емитује непрекидни и линијски спектар. Непрекидни потиче од фотосферске светлости која се расипа на електронима у корони, а линијски од усижаних корониних гасова. Линијски спектар побуђује посебно интересовање. То су интензивне линије разних боја које су дуги низ година биле велика тајна за научнике. Спектралном анализом је утврђено да такве линије никада нису добијене на Земљи. Претпоставило се да је корона састављена од неког гаса који на Земљи не постоји. Тај гас је добио име „коронијум“. Неколико десетина година научници су покушавали да открију мистерију „коронијума“, тим пре што су низом поновљених мерења добијене јасне и интензивне линије короне. Тајну је решио тек 1938. г. Едлен, последњи из групе чувених шведских спектроскописта коју су чинили, поред њега, Ангстрем и Ридберг. Коронине линије потичу од гвожђа, калцијума и никла на температури од око $1000\ 000^{\circ}\text{C}$. Ови елементи су вишеструко јонизовани. Да температура короне износи милион степени, астрономи дуго нису могли да поверују. Данас је низ других чињеница потврдио овај резултат, мада ни сада није лако објаснити механизам који загрева корону до тако високе температуре.

Корона може бити различитих облика, као што показује сл. 106. Њен сјај опада са удаљавањем тако да постепено прелази у међупланетски простор.

Унутрашњост Сунца је област која није доступна посматрању због непровидне фотосфере. Представе о унутрашњој грађи Сунца добијене су само на основи теоријских расуђивања, заснованих на општим физичким законима.

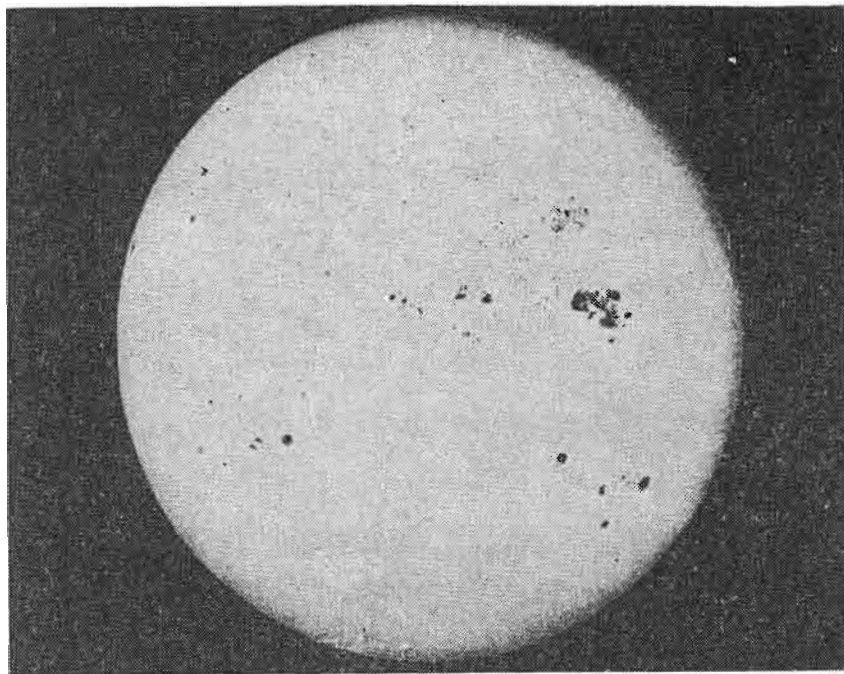
У унутрашњости Сунца влада температура од око 14 милиона степени, а густина материје је око $100\ \text{g/cm}^3$. Ту се налазе извори Сунчеве енергије. Од свих познатих извора енергије (сагоревања, хемијске реакције, цепање и прегруписавање атомских језгара) само два могу да обезбеде тако огромне количине енергије у дугом временском размаку, а то су:

- 1) гравитационо сажимање и
- 2) термонуклеарне реакције.

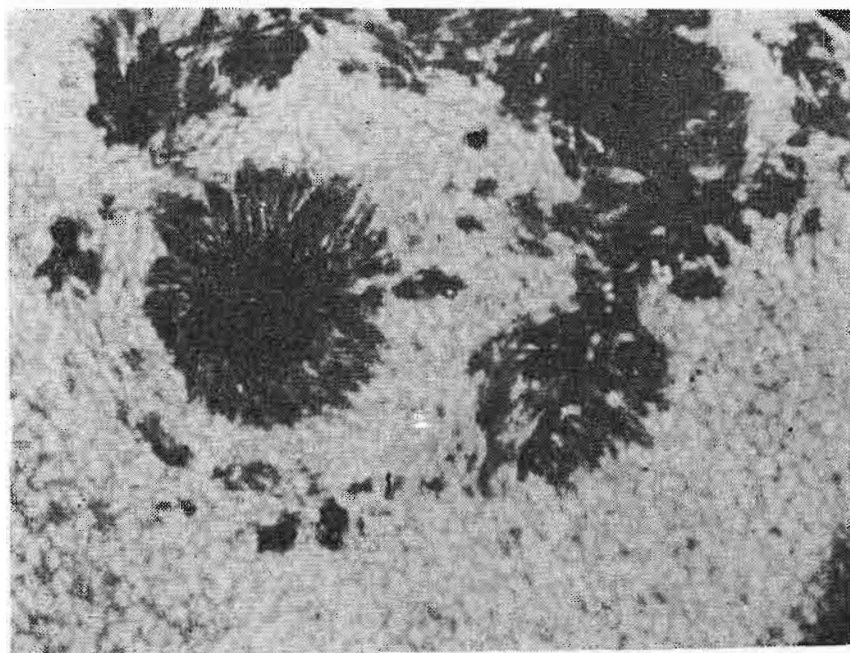
Знамо да се Сунце сада не налази у периоду живота када би гравитационо сажимање било вероватан процес. Сунце је звезда средње старости, ни сувише млада, ни при крају живота. У овом периоду, при температури од око 14 милиона степени, највероватнији извор енергије су термонуклеарне реакције, при чему је „гориво“ водоник. При таквим реакцијама долази до фузије (спајања) два језгра водоника у језгро хелијума, а вишак масе се претвара у енергију.

11.3. Разни облици циклуса Сунчеве активности и њихов утицај на Земљу. — Изложили смо нормалну грађу Сунца за време тзв. „мирних дана“. Постоје, међутим, дани, месеци па и читаве године када Сунце постаје нарочито активно, емитује још већу количину енергије и на његовим омотачима се појављују необичне форме које се називају облици Сунчеве активности. Овде ћемо навести само најважније облике те активности и њихов утицај на Земљу.

Сунчеве пеге. Од свих облика Сунчеве активности пеге се најдуже проучавају. Њих је убрзо по проналаску дурбина (1610. год.) истовремено пратило неколико посматрача, међу њима и Галилеј. Пеге су најочљивија појава на фотосфери. На сл. 107 приказано је неколико група пеге на Сунцу, а на сл. 107а увеличана једна група. Пеге је тамнија и нешто хладнија од околне фотосфере. Јавља се као тамна *пора* која се брзо прошири и живи неколико недеља, а понекад и неколико месеци. Око тамног језгра пеге (сенке) налази се нешто светлија полусенка. Пошто пеге живе нешто дуже од једне Сунчеве ро-



Сл. 107. Група Сунчевих пеге



Сл. 107.а) Група Сунчевих пеге — детаљ

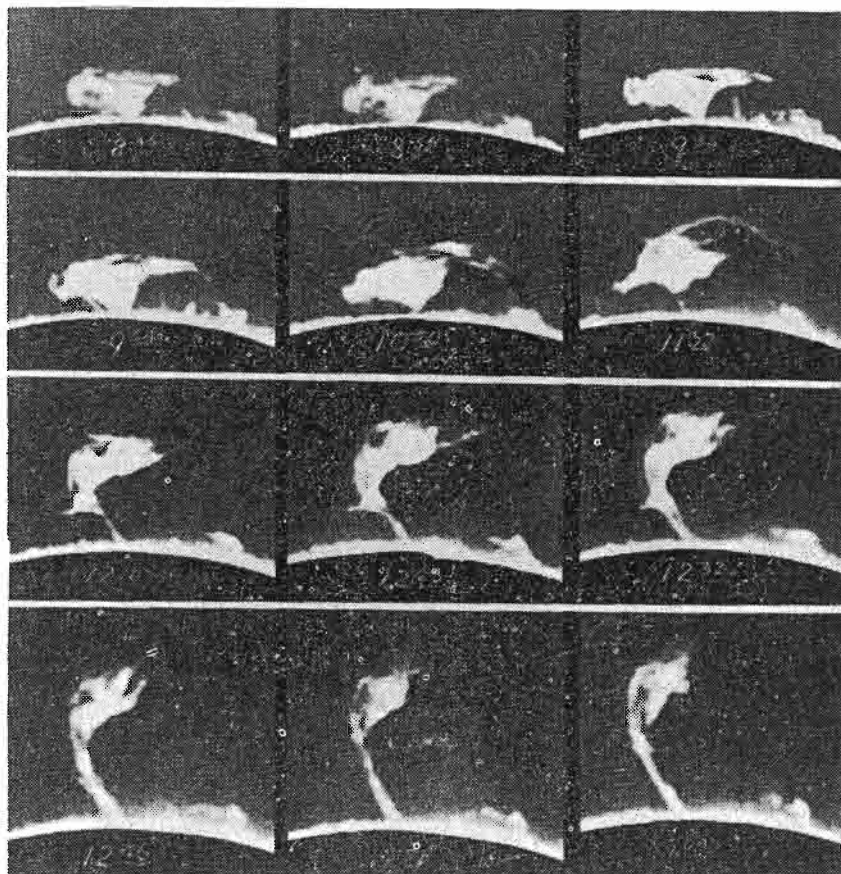
тације, то се помоћу њих може пратити ротација на разним тачкама фотосфере. Период Сунчеве ротације износи око 27 дана.

Пеге се обично јављају у паровима — као пега *водиља* и пега *пра-тиља*. Оне су места на којима постоје врло јака магнетна поља супрот-ног поларитета. Просечна величина пеге у пречнику износи око 50 000 km (што је знатно веће од Земљиног пречника). Немачки астро-ном аматер Швабе пребројавао је Сунчеве пеге сваког ведрога дана током 43 године, почевши од 1826. год., и скицирао њихов положај. Дошао је до изванредно важног закључка — број Сунчевих пега по-казује периодичан карактер.

Постоје године када током неколико недеља нема ни једне пеге на Сунцу. То је минимум Сунчеве активности. Затим наилазе године када је број пеге све већи и у максимуму Сунчеве активности пеге има највише. Период између два минимума назива се *циклус Сунчеве активности*. Он траје око 11 година. Сада се налазимо у XX циклусу откако је почело систематско пребројавање пеге. XX циклус је почео 1964. год. имао је максимум октобра 1968. год., а минимум 1975. го-дине.

Осим пеге, постоје и други облици Сунчеве активности. Навеш-ћемо још *протуберанце* и *ерупције*. Оба ова облика настају у хромо-сфери.

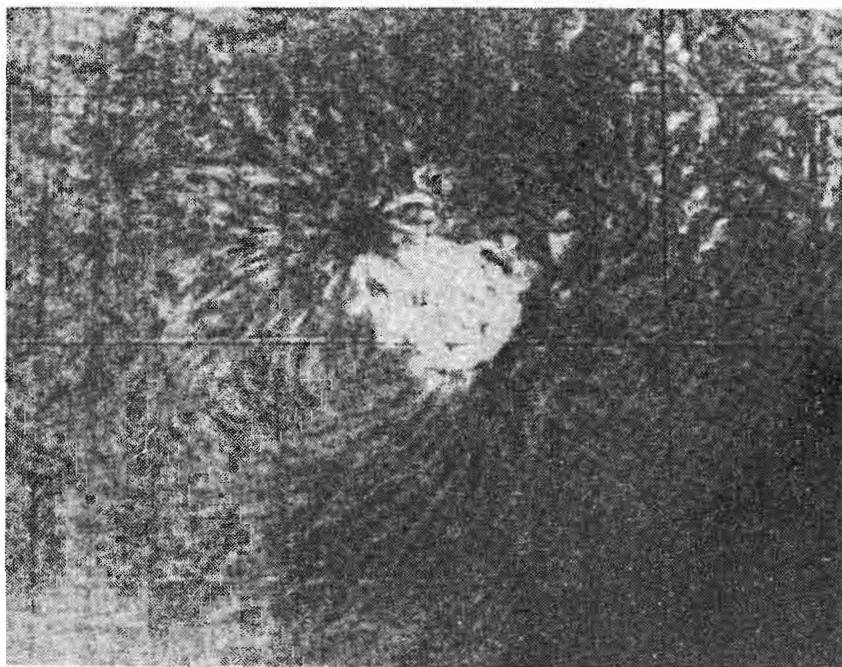
Протуберанце су црвенкасти облаци гасовите материје, раз-них облика, које хромосфера избацује високо у корону у виду цинов-ских водоскока (сл. 108). Оне достижу висину од неколико стотина хи-



Сл. 108. Протуберанце

љада километара и на рубу Сунчевог диска се лепо виде за време потпуних Сунчевих помрачења или помоћу инструмента *спектрохемиографа*. Протуберанце могу да трају и више недеља. То је једна од најатрактивнијих појава на Сунцу.

Ерупције на Сунцу настају такође у хромосфери, али се њихов утицај осећа и на Земљи. То је облик активности који има најјаче геофизичке ефекте. У видљивој светлости ерупција изгледа као изненадни бљесак у хромосфери, обично изнад веће групе пега (сл. 109), који траје од 5 до 30 минута, а затим се гаси. Осим видљивог, из ерупције се емитује врло карактеристичан рендгенски и ултраљубичасти спектар, као и радио-таласи, а избацују се и потоци наелектрисаних честица. Да би се све ово регистровало, потребни су, као допуна оку, разни пријемници.



Сл. 109. Сунчева ерупција

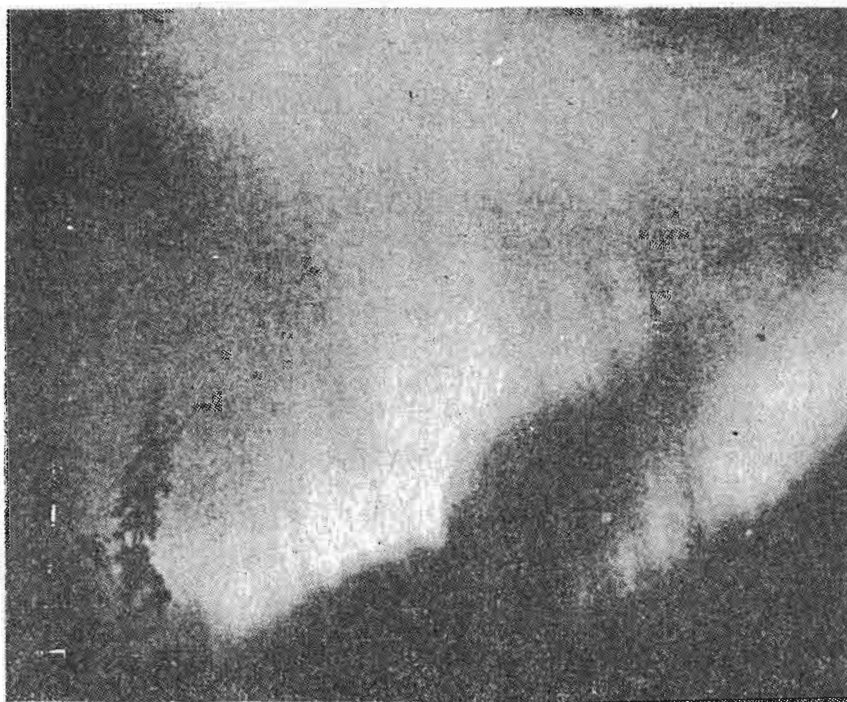
Ерупције, као и протуберанце и пеге, показују периодичан карактер појављивања. Та периода износи око 11 година.

Многобројни су геофизички ефекти који настају као последица Сунчевих ерупција. Поменућемо само неке.

Поларна светлост је појава у Земљиној атмосфери на висини око 100 km, која се најчешће виђа у поларним крајевима, због чега је и добила име. Јавља се у разноврсним облицима: као завесе, лепезе, облаци зраци и стубови (сл. 110). У нашим крајевима поларна светлост се изузетно ретко виђа. Она настаје када наелектрисане честице високе енергије стигну са Сунца у Земљину атмосферу, па се спусте близу њене површине путујући дуж линија сила геомагнетског поља

Магнетске буре. Наелектрисане честице са Сунца (најчешће из ерупција) стижу до магнетосфере и ту ремете нормалну структуру геомагнетног поља, као када би неко затресао разанете рибарске мреже. Поремећај у геомагнетном пољу испољава се подрхтавањем игле у бусоли која не показује више север све док појава не прође и док се игла поново не умири. То су магнетне буре, које могу

да трају и по неколико дана. У геомагнетним лабораторијама на Земљи ове појаве се региструју инструментима који мере промену јачине геомагнетног поља и омогућују поступно проучавање појаве, док је бусола само груби показивач који показује да нешто „није у реду“ са геомагнетним пољем. Магнетне буре су задавале велике тешкоће у морепловству, када је бусола била једино средство за навигацију у облачним данима.



Сл. 110. Поларна светлост

Јоносферске буре. Скоро истовремено са магнетним бурама почињу и јоносферске буре. Узрок им је углавном заједнички: то су наелектрисане честице које са Сунца путују брзином од око 1500 km/sec. Оне нарушавају нормалну грађу јоносфере, што доводи до прекида радио-веза на Земљи. Ова појава траје од неколико часова до неколико дана. И јоносферске и магнетне буре су много чешће у годинама „активног Сунца“ (око 5 месечно), док су у годинама „мирног Сунца“ ове појаве ретке (1—2 годишње). Постоје установе (има их и код нас) које се баве проучавањем геомагнетног поља и јоносфере.

11.4. Проблем Сунце — Земља и практичне примене Сунчеве енергије. — Из овог што смо изложили о Сунцу очигледно је да је оно извор живота на Земљи, његов регулатор и битан чинилац не само са биолошког већ и са енергетског гледишта. Угаљ, енергија река и мора, ветрови — све је то део претворене Сунчеве енергије коју људи употребљавају.

Осим ових посредних облика, Сунчева енергија се непосредно користи у батеријама које носе вештачки сателити. Ове батерије се састоје од фотоелементата који Сунчеву енергију претварају у електричну, неопходну за напајање инструмената у сателиту. Осим тога, непосредно се користи у многим земљама за загревање (сунчане пећи).

Осим енергетског, постоје и други облици утицаја Сунца на Земљу.

Сунце изазива читав низ појава које проучавају геофизичари. То је углавном електро-магнетно дејство Сунца које се манифестује као поларна светлост, јоносферске и магнетне буре и др. Проучавање ових појава, као и проучавање простора између Сунца и Земље, створило је нову научну дисциплину која се назива: *физика Сунце — Земља*. Она је окупила научнике различитог профила, који сваки са свог гледишта проучава простор који окружује Земљу. За људе су ова проучавања од великог практичног значаја.

ПИТАЊА

1. Шта је Сунчева константа?
2. Шта су Фраунхоферове линије?
3. Који су спољашњи Сунчеви омотачи?
4. Када је откривен хелијум и зашто је тако назван?
5. Ко је открио периодични карактер појаве пега на Сунцу?
6. Шта су Сунчеве ерупције?
7. Које су геофизичке последице Сунчевих ерупција?

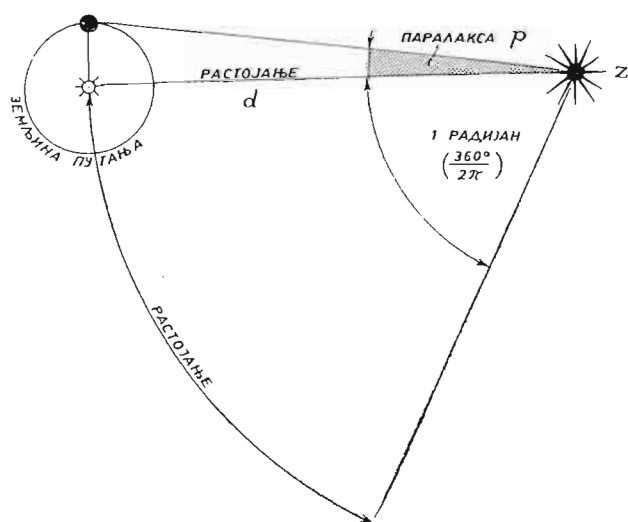
ГЛАВА ДВАНАЕСТА

ЗВЕЗДЕ

Звезде су далека сунца која светлуцају на ноћном небу. То су усијане гасовите лопте, различитог сјаја и разних физичких карактеристика. Проучавање звезда је одувек привлачило човека.

12. 1. Даљине и паралаксе. — Мерење растојања је један од основних задатака у астрономији. Оно је важно за проучавање Сунчевог система, наше Галаксије и васионе. Колико су звезде далеко од нас, није било познато све до прве половине XIX века.

У осмој глави изложена је Коперникова теорија кретања планета око Сунца и Кеплерови закони. Непосредна последица таквог кретања Земље око Сунца било би привидно кретање ближних звезда у односу на далеке звезде у току једне године, односно постојање звездане паралаксе, што је описано у 4.4. Од објављивања Коперникове теорије хелиоцентричног система (1543. год.) скоро пуних 300 година научници су узалуд покушавали да измере паралаксу било које звезде. Овај неуспех су користили противници хелиоцентричног система као аргуменат против Коперникове теорије. Тешкоћа је у ствари била у огромним даљинама звезда, односно у врло малим паралактичким угловима. Очигледно је, са слике 111, да је угао p мањи што је звезда



Сл. 111. Паралакса

Z на већем растојању од посматрача.

Прва поуздана мерења звезданих паралакса извршили су независно један од другог три научника: Бесел, Струве и Хендерсон тридесетих година прошлог века. Њихова мерења су показала да су звезде много даље од нас него што су научници до тада могли и да претпоставе. Паралакса нама најближе звезде (после Сунца) α Centauri, износи $p = 0'',76$, што значи да је мања од једне лучне секунде. Ако годишњу паралаксу звезде

означимо са p онда се даљина звезде d одређује по формули:

$$d = R/\sin p,$$

где је R полупречник Земљине путање. Или, ако мали угао p изразимо у угловним секундама, онда, због тога што је $1 \text{ rad} = 206\,265''$, горњи израз можемо написати у облику:

$$d = 206\,265 R/p''.$$

Одавде се може израчунати да се звезда α Centauri, чија је паралакса $p = 0'',76$, налази на растојању $d = 4,1 \times 10^{13} \text{ km}$. Све остале звезде имају још мању паралаксу, односно налазе се на још већем растојању од нас. Постаје јасно да за тако огромна растојања километар није погодна јединица. Зато се у астрономији употребљавају веће јединице. Једна *астрономска јединица* (1 А. Ј.) је средње растојање између Земље и Сунца, које износи $1,496 \times 10^8 \text{ km}$. Често се употребљава и јединица *светлосна година*. То је даљина коју пређе светлост за годину дана путујући брзином $c = 2\,998 \times 10^5 \text{ km/s}$. Једна светлосна година има $9,5 \times 10^{12} \text{ km}$, или $6,3 \times 10^4 \text{ А. Ј.}$

Још већа јединица је један *парсек* (1 ps). То је растојање са којег се радијус Земљине орбите види под углом од једне секунде. Један парсек има $3,1 \times 10^{13} \text{ km}$, или $206\,265 \text{ А. Ј.}$, или $3,3$ светлосне године. Хиљаду пута већа јединица је *килопарсек* (1 kps), а милион пута већа *мегапарсек* (1 Mps). Образац по коме можемо да прерачунавамо растојања у разним јединицама је:

$$d = 1/p'' \text{ ps} = 3,3/p'' \text{ свет. година.}$$

12. 2. Звездане величине. — Голим оком се на целој небеској сфери види око 6 000 звезда. Ради лакше оријентације на небу, давно се јавила потреба означавања звезда и израда звезданих каталога.

Још стари народи³⁷ су обележавали звезде према сјају. Најстарији каталог звезда, који се сачувао до данас, налази се у Птолемејевом делу „Алмагест“ из 150. год., у коме је овај грчки астроном класификовао 1 025 тада познатих звезда, наводећи њихов сјај, небеску латитуду и лонгитуду и њихово место у сазвежђу.

Овде треба нагласити једну некоректност у коришћењу термина „сјај“. У фотометрији сјај означава количину енергије коју у јединици времена израчи 1 cm^2 површине светлосног извора, у овом случају звезде. Како су звезде за нас изузетно далеки објекти, то немамо права да говоримо о њиховом сјају јер га у ствари не знамо, већ о осветљености коју те звезде изазивају на Земљи. Међутим, због непогодности термина „осветљеност“ астрономи упорно користе термин „сјај“, па ћемо га и ми често користити у даљем излагању.

Савремени каталози садрже много већи број звезда, а осим положаја, понекад се у њима даје даљина и читав низ других параметара који карактеришу звезду.

У Птолемејевом каталогу око 20 најсјајнијих звезда било је сврстано у прву привидну величину, мање сјајне звезде у другу, итд. до шесте привидне величине, у којој су се нашле звезде слабог сјаја, на граници видљивости голим оком. Оваква класификација звезда од

³⁷ Хипарх, грчки астроном, II век пре н.е.

прве до шесте привидне величине извршена је вероватно интуитивно. Тек се у XIX веку показало да она има и конструктивно значење.

Године 1834. физиолози Вебер и Фехнер дали су општи психо-физички закон за сва човечја чула којим се одређује веза између интензитета осећаја (S) и надражаја који тај осећај изазива (R):

$$S = C^R.$$

Погсон, 1856. год., примењује овај општи закон на астрономију:

$$E = C^m,$$

где је E осветљеност (сјај) која долази са небеског тела (звезде), а m привидна звездана величина³⁸ онако како је запажа наше око (C је константа). Ова формулација је указивала да геометријској прогресији сјаја звезда одговара аритметичка прогресија привидних величина. Требало је одредити колики је однос сјаја који одговара разлици привидних величина за 1 m , па да тако добијена скала што више одговара привидним величинама које су већ биле у употреби толико векова. Погсон је нашао да је то број чији је десетни логаритам 0,4. Користећи Погсонову константу и раније откривени однос између сјаја звезда и њихових привидних величина, дошло се до ове математичке везе:

$$E_2/E_1 = C^{m_1 - m_2},$$

или:

$$\log E_2/E_1 = (m_1 - m_2) \log C,$$

где су E_1 и E_2 осветљености (сјај) које стижу са две различите звезде, m_1 и m_2 привидне величине тих звезда³⁹, а $C = 2,512$, односно $\log C = 0,4$.

Ова једначина је једна од основних у астрономији. Она омогућује да се помоћу привидних величина двеју звезда (онако како их види посматрач са Земље) одреди осветљеност (сјај) једне, ако се зна осветљеност (сјај) друге звезде; на пример, ако је $E_1 = 1$, онда непознати сјај E_2 добијамо из разлике привидних величина:

$$\log E_2 = 0,4 (m_1 - m_2).$$

Или, ако се привидне величине звезда разликују за јединицу, нпр. $m_1 - m_2 = 1$, добијамо да је однос сјаја управо Погсонова константа $E_2/E_1 = 2,512$. Треба истаћи три ствари: Прво, величина звезде о којој је била реч је само *привидна* кад не знамо даљину звезде, већ говоримо о мери сјаја онако како види посматрач са Земље. Друго, привидна величина је мера сјаја, а не пречника звезде. И треће, у горњој формули промена редоследа индекса је настала зато што сјајнијој звезди одговара бројно мања привидна величина.

С обзиром на уложене напоре да се не поремети стара класификација, није чудо што се савремена скала привидних величина не

³⁸ Види 1.5.

³⁹ Од латинске речи *magnitudo* = величина.

разликује од старе. И сада су звезде шесте привидне величине на граници видљивости голим оком. Звезде још слабијег сјаја називају се *телескопске звезде*. Уколико је телескоп бољи и већи, утолико се могу видети звезде мањег сјаја, односно веће привидне величине. Данас се највећим телескопом могу посматрати звезде до 19^m . Осим тога, савремена мерења су прецизнија, па се привидне величине означавају и децималама, а не само целим бројевима. Највећа одступања од старе скале јавила су се код најсјајнијих звезда. Утврђено је да се многе Птолемејеве звезде прве величине знатно разликују међу собом по сјају. Због тога је скала привидних величина проширена и са леве стране, тј. уведени су нула и негативни бројеви. Тако је привидна величина најсјајније звезде нашег неба Сиријуса $m = -1,4$, пуног Месеца $m = -12,6$, а Сунца $m = -26,8$.

Звезда може имати мању привидну величину, значи бити сјајнија, или зато што је заиста врло сјајна или зато што је ближа од неке друге звезде. Да бисмо могли да упоредимо сјај звезда, требало би да их доведемо на исту даљину од нас. Тако је и дефинисана *апсолутна величина звезде*.

Апсолутна звездана величина је она привидна величина коју би имала звезда на растојању од 10 парсека (паралакса $0'',1$). Значи, за одређивање апсолутне величине потребно је да знамо, осим њене привидне величине, и даљину звезде. Апсолутне величине означавају се словом M .

Ако се из посматрања одреди привидна звездана величина m , онда се за стандардно растојање од 10 ps апсолутна звездана величина (M) може израчунати из познатог обрасца:

$$0,4 (m - M) = \log E_M/E_m,$$

где је m привидна звездана величина, M апсолутна звездана величина, E_m осветљеност која одговара привидној звезданој величини и E_M осветљеност која одговара апсолутној звезданој величини. Ако занемаримо апсорпцију енергије на путу од звезде до нас и ако се сетимо да осветљеност опада са квадратом растојања, онда је:

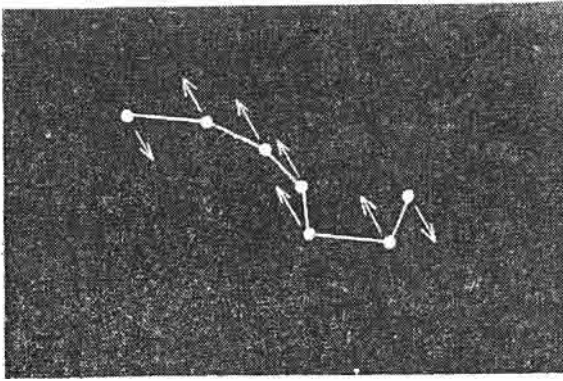
$$E_M \propto \frac{1}{r^2} = p^2,$$

$$E_m \propto \frac{1}{r^2} = p^2.$$

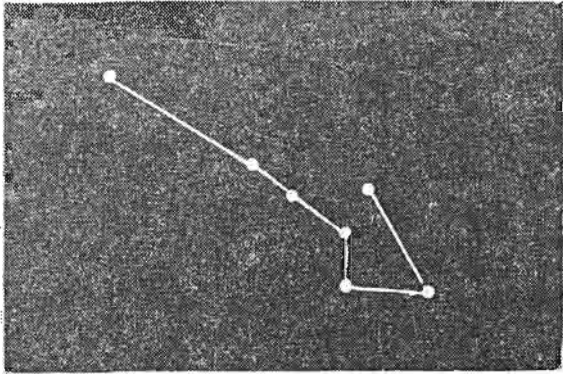
Наше Сунце, чија је привидна величина $m = -26,8$, има апсолутну величину $+48$ а Сиријус $m = -1,4$ и $M = +1,3$. Видимо, дакле, да је близина Сунца узрок његовој толикој привидној величини, што смо и претпостављали.

12. 3. Кретање звезда. — Осим привидног кретања звезда, услед Земљине ротације и револуције постоји и право кретање звезда у различитим правцима у простору. Кретање звезда је врло брзо, али због огромних растојања међу звездама нама изгледа да се оне врло споро крећу. Због тога је потребан дужи временски период да се знатније измени њихов међусобни положај, што приказује слика 112. На слици видимо сазвежђе Велики Медвед како данас изгледа (а), како је изгледало пре 50 000 год. (б) и како ће изгледати кроз 50 000 год. (с).

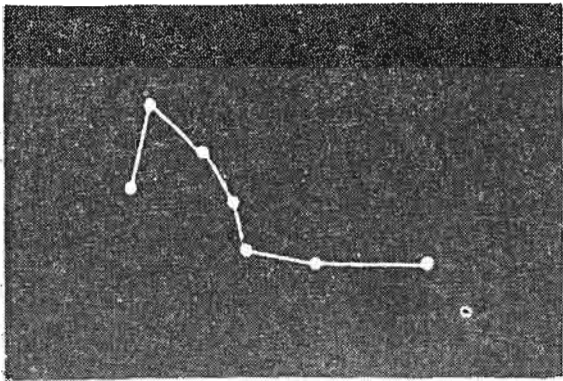
Кретање звезда у простору може да се одреди помоћу *радијалних брзина* и помоћу *сопствених кретања* звезда (сл. 113).



a

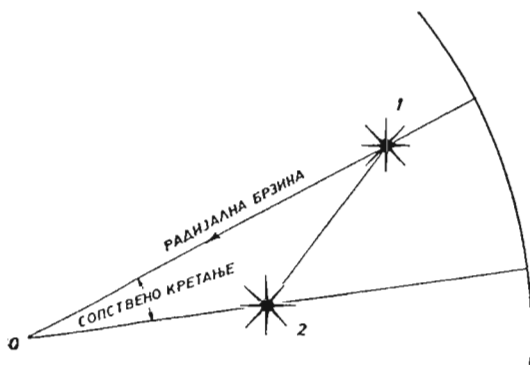


b



c

Сл. 112. Велики Медвед: а) данас; б) пре 50 000 год; с) после 50 000 г.



Сл. 113. Сопствено кретање и радијална брзина звезде

Радијална брзина је брзина којом се звезда приближује или удаљује од нас. То је величина која не зависи од даљине звезде. Она се одређује на основи Доплеровог ефекта, који је познат из физике.

Сопствено кретање је промена правца под којим видимо звезду, или промена положаја звезде на небеској сфери у току једне године. То је угловна величина и она је утолико мања уколико је даљина звезде већа. Сопствено кретање звезда мери се упоређењем међусобног положаја звезда у дужем временском размаку, најчешће се користе фотографски снимци истог дела неба у што дужим временским размацима.

Кретање звезда у простору одређује се радијалном брзином, сопственим кретањем и даљином звезде. Брзине кретања већине звезда у односу на Сунчев систем су велике. Оне износе 10—50 km/s.

Кретање Сунчевог система. Кретање звезда у простору одређивали смо према посматрачу са Земље или са Сунца, што је у односу на звездане даљине исто. Међутим и Сунце је звезда која се креће у односу на околне звезде. Да бисмо извршили потребне поправке у одређеним кретањима звезда морамо знати како се креће Сунце.

Још 1783. год. Хершел је приметио да се у правцу сазвежђа Херкула налази једна тачка из које нам изгледа као да се све звезде разилазе. Из тога је сасвим тачно закључио да Сунце са целим планетским системом мора да се креће у том правцу. Тачка према којој се креће Сунце названа је *апекс*. Савремена мерења показују да се Сунце

заиста креће брзином око 20 km/s према апексу ($\alpha = 19^h$; $\delta = + 36^\circ$) који се налази између сазвеђа Лира и Херкул.

12. 4. Физичке особине звезда. — „Спектри звезда — то су њихови пасоши“, каже Воронцов-Вељаминов, совјетски астроном. И заиста, треба само знати читати спектре. Из њих се сазнају многе физичке особине звезда. Спектри звезда су врло различити, што углавном зависи од температуре звезданих атмосфера. Што је виша температура звезданог омотача, то се максимум зрачења помера ка краћим таласима. Због тога нам неке звезде изгледају црвене или жуте, а неке беле или плаве. Звездани спектри и познати закони зрачења (Стефан-Болцманов, Планков, Винов) помажу нам да откријемо стања гасова на звездама.

На основи спектра израђена је класификација по којој поједине спектралне класе имају следеће ознаке:

O — B — A — F — G — K — M.

Температура у овом низу опада слева надесно од 50 000 — 2 000°C.⁴⁰ Ова веома важна физичка класификација звезда за основни критеријум има — температуру. 90% свих звезда припада класама од B до M. Класи O припадају малобројне најтоплије звезде. У новије време ова класификација има још детаљнију поделу.

По хемијском саставу највећи број звезда се мало разликује једна од друге без обзира на то којој класи припадају. Као и код Сунца, водоник и хелијум су најзаступљенији елементи и код других звезда.

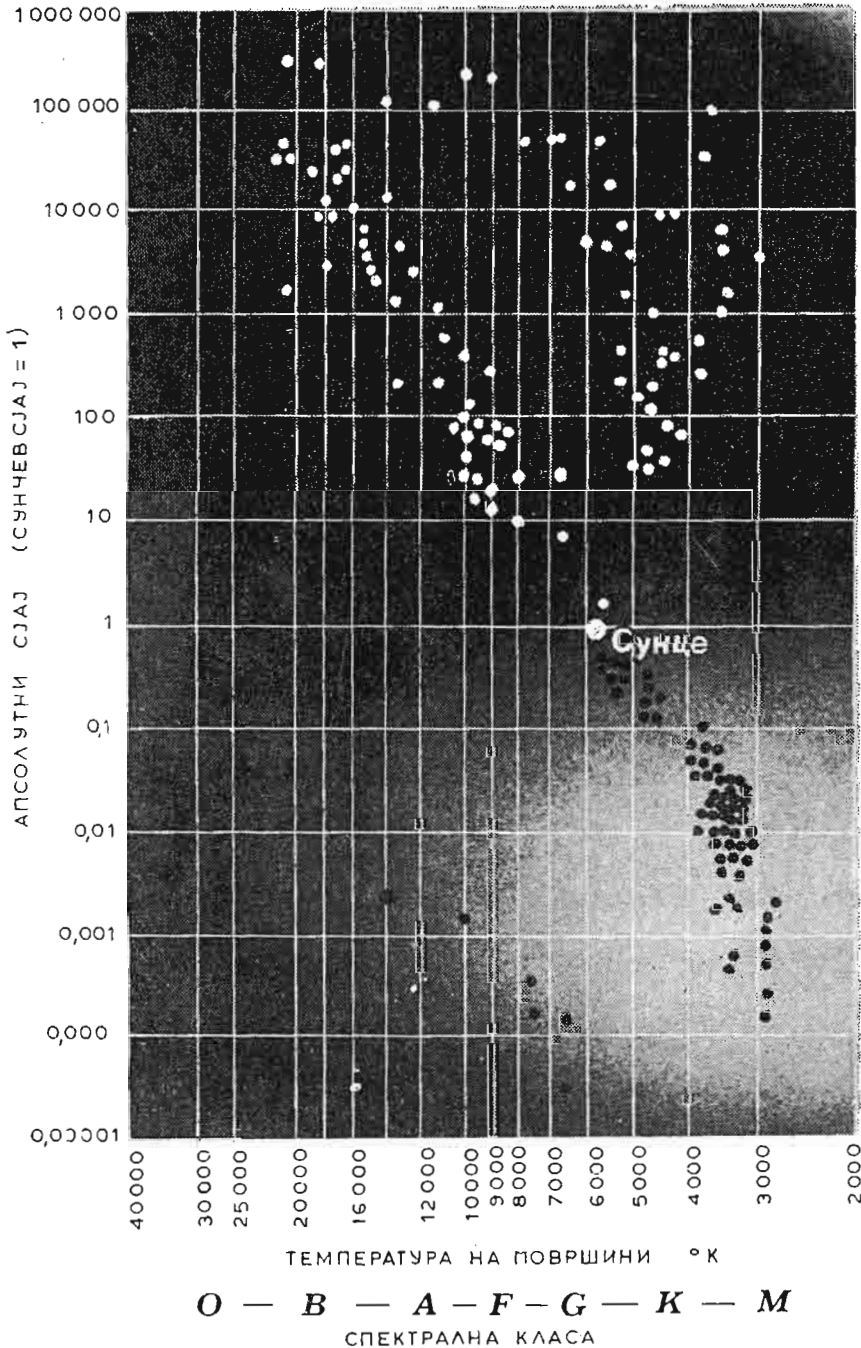
12. 5. Херцшпрунг — Раселов дијаграм. — Почетком овог века дански астроном Херцшпрунг установио је да постоји веза између температуре и апсолутне звездане величине, односно сјаја звезде. Амерички астроном Расел је нешто касније конструисао први дијаграм: спектар — апсолутна звездана величина, који је био корак даље у проучавању звезда и који се данас врло много употребљава. Скраћено се назива H—R-дијаграм.

Ако се апсолутна звездана величина (M) нацрта у функцији њене спектралне класе или температуре, онда највећи број звезда из околине Сунца лежи на једном низу који се протеже из левог горњег дела дијаграма према десном доњем делу (сл. 114). Ова концентрација звезда назива се *главни низ* H—R-дијаграма. Наше Сунце је жута звезда, спектралне класе G и апсолутне величине $M = +4,8$. Оно се налази близу средине главног низа. То значи да су многе звезде сјајније, али многе и мање сјајне од њега. Што је звезда топлија (плава, бела) и сјајнија, то је ближа горњем левом делу, а што је хладнија, она „силази“ низ главни низ. Тако се у десном доњем делу налазе црвене звезде малог сјаја које се не виде голим оком. Овај дијаграм показује да код звезда постоји одређени однос сјаја и температура. На основи овог дијаграма, знајући спектралну класу звезде, можемо да одредимо њену апсолутну величину иако јој не знамо даљину. То важи за велики број звезда. Постоје ипак изузеци од овог правила. Као што се види

⁴⁰ Наведене температуре односе се на звездане атмосфере, а не на унутрашњост звезда, јер и спектри потичу из атмосфера.

на слици 114 неке звезде не леже на главном низу $H-R$ -дијаграма. Оне се називају *звезде џинови* и *звезде пагуљци*.

Црвени џинови су црвене, изузетно сјајне звезде, много сјајније од Сунца. То ипак нису веома топле звезде, што би се очекивало по њиховом сјају. Оне припадају класама K и M и температуре им не прелазе $5\,000^\circ\text{C}$. Ако дефинишемо укупан сјај звезде као количину енергије коју у 1 секунди израчи 1 cm^2 звездане површине помножен величином целе површине, онда звезде при ниској температури могу да зраче велику енергију и буду толико сјајне као црвени џинови, само ако су њихове површине огромне. И заиста, познате звезде џинови



Сл. 114. $H-R$ -дијаграм

Бетелгез и Антарес имају пречнике око 400 и око 300 пута веће од Сунчевог. Звезде веће од џинова зову се *суперџинови*. Огромне звезде џинови и суперџинови срећу се веома ретко.

Бели патуљци су звезде слабог сјаја, које се не виде голим оком, а припадају класама А до F, што значи да су врло топле. То су малобројне звезде које леже у левом доњем делу *H—R*-дијаграма испод главног низа. Ако и поред великих температура зраче малу количину енергије, значи да морају бити малих димензија. Бели патуљци су заиста мале звезде. Величине њихових пречника крећу се од половине Земљиног пречника до четири Земљина пречника. Ови патуљци су још по нечему изузетни. То су звезде изванредно велике густине. Док је средња густина Сунца $\rho = 1,4 \text{ g/cm}^3$, средња густина белих патуљака је $\rho = 10^6 \text{ g/cm}^3$. Тако огромну густину тешко је замислити. Кутија шибице ове материје тежила би више од једне тоне. На Земљи не познајемо материју такве густине (платина — $\rho = 21 \text{ g/cm}^3$; злато — $\rho = 19,2 \text{ g/cm}^3$; жива $\rho = 13,6 \text{ g/cm}^3$).

Каква је то специјална материја од које су сачињени бели патуљци? Атом је под нормалним условима „празан простор“ у коме честице заузимају врло мали део. Неутрални атом има пречник 10^{-8} cm , а атомско језгро само 10^{-13} cm , односно сто хиљада пута мањи. У унутрашњости белих патуљака владају страховито високи притисци и температуре. Под таквим условима неутрални атоми губе своје електроне и материја постаје тзв. „дегенерисани гас“, тј. смеша језгара и слободних електрона. Не улазећи у детаљну анализу физичких особина таквог стања материје, можемо рећи да се дегенерисани гас може сабити у знатно мањи простор, па се тамо и остварују огромне густине.

Године 1967. откривене су необичне звезде — *пулсари* чија енергија, у облику поларизованог зрачења, стиже до нас у импулсима, тј. у тако правилним временским размацама да се с правом могу називати „космичким часовницима“. Периоде понављања импулса су кратке — од 1 до 4 s , а има их и са још краћим периодама. Природа ових необичних објеката и механизам емитовања енергије побудили су изузетно интересовање. Сматра се да су то *неутронске* звезде чија је густина још већа од густине белих патуљака.

Црвени џинови, бели патуљци и пулсари су изузетно значајни за проучавање звездане еволуције. О њима ће се још говорити у последњој глави, где ће бити изложене основе звездане еволуције.

12. 6. Двојне звезде. — То су парови звезда који обилазе око заједничког тежишта под утицајем сопствене гравитације. Период обиласка (револуција) зависи од растојања између звезда. Ако су ближе, звезде обилазе брже, а ако су даље — спорије. Голим оком се такав пар обично види као једна звезда и тек се помоћу телескопа виде одвојено. Математички се може показати да њихове путање морају бити елипсе, као и путање планета око Сунца. Значи, Кеплерови закони, као и Њутнов закон гравитације, имају универзални карактер. Они важе и изван Сунчевог система.

На слици 115. приказана је путања двојне звезде у равни нормалној на правац посматрања. Таква се путања назива *привидна*. *Права* путања може лежати у било којој равни у односу на посматрача и

израчунава се из привидне путање. То су *физички* двојне звезде. Често је друга звезда оваквог двојног пара врло слабог сјаја, па се ни телескопом не може видети. Тада се на основи малог одступања путање сјајније звезде од елипсе закључује да на њу делује гравитација њеног невидљивог пратиоца.

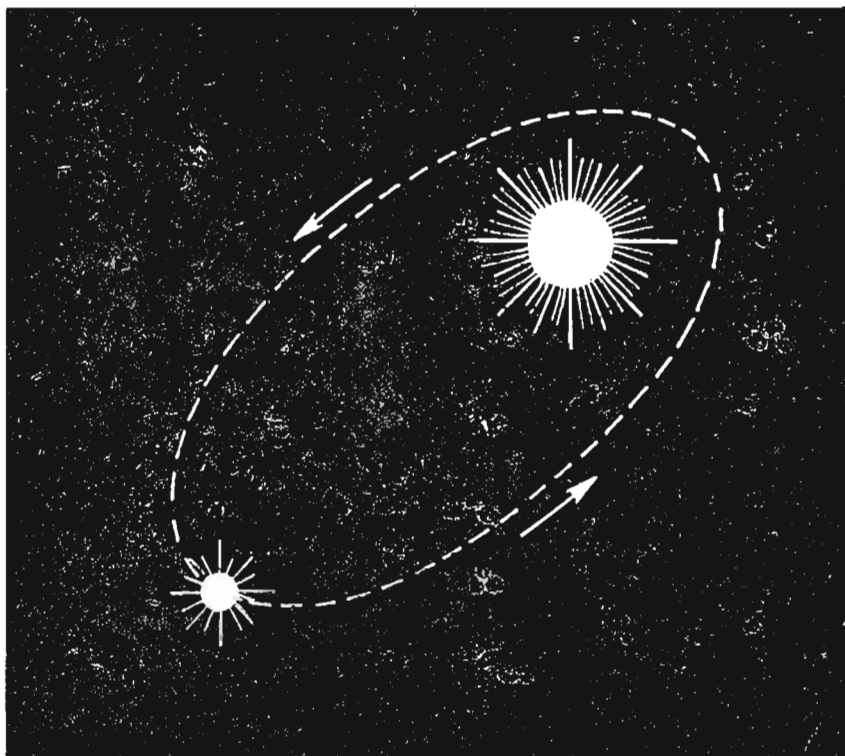
На основи геометријских особина путања двојних звезда могу се израчунати њихове масе. Ово је један од значајних резултата проучавања двојних звезда.

Први пар двојних звезда откривен је 1650. год., дакле само 40 година после Галилејеве употребе дурбина. Међутим, откриће великог броја двојних звезда припада В. Хершелу, који је у XVIII веку направио неколико највећих телескопа тога времена. В. Хершел је од 1782. год. до 1821. год. издао три каталога са укупно 848 двојних звезда. Заслуга за откривање двојних звезда с правом припада Хершелу, а В. Струве (оснивач Пулковске опсерваторије код Лењинграда) је пионер систематског проучавања двојних звезда. Тај посао је наставио Ото Струве, његов син, и њиме се бавио пуних 46 година.

Данас се зна да су на даљини од 10 парсека око Сунца 50% звезда двојне, тројне и вишеструке. Значи, поред усамљених звезда, појава звезда у паровима је честа појава у природи.

Дешава се да ове звезде изгледају као двојне због тога што се телескопом виде у једном правцу, а у ствари су врло далеко једна од друге и не чине никакав физички пар. Такве звезде се називају *оптички двојне*.

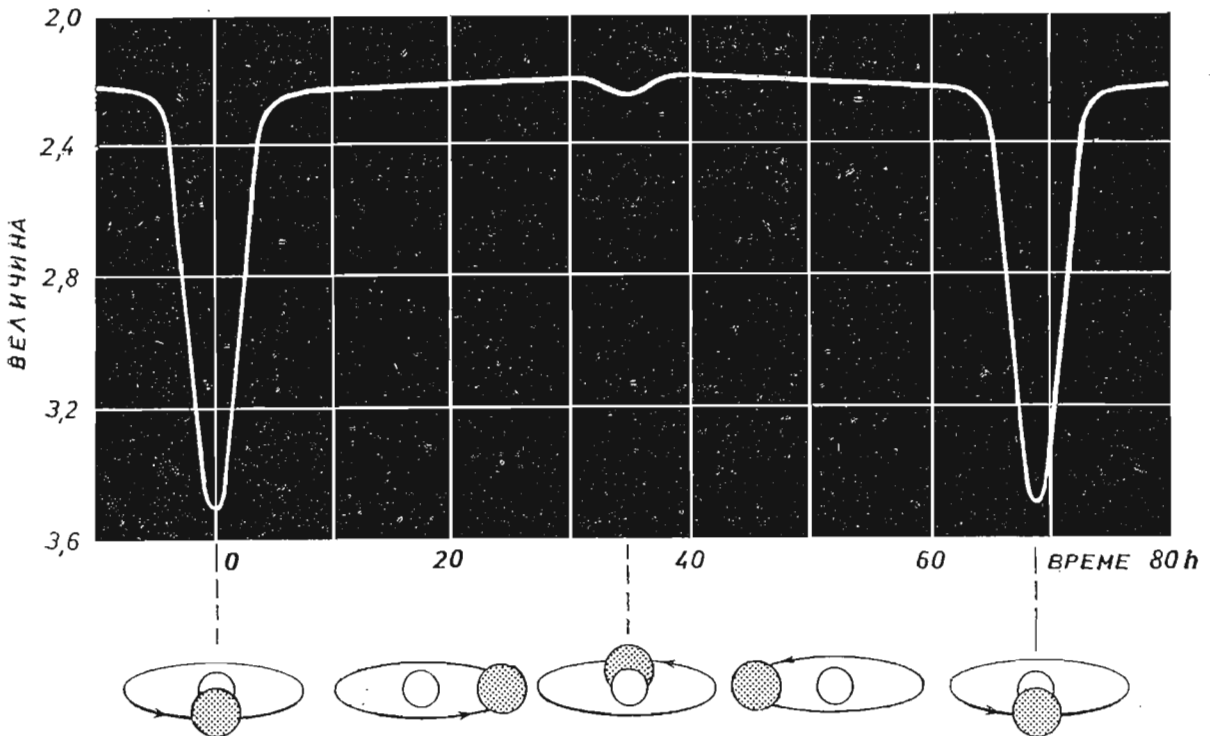
Понекад су физички двојне звезде толико близу једна другој да се ни најјачим телескопом не могу раздвојити. Да је то ипак пар звезда, закључујемо на основи фотографије њиховог спектра. Допле-



Сл. 115. Путања пратиоца двојне звезде

рово померање линија у њиховом спектру врши се периодично, у ритму револуције звезда. Овакве звезде називају се *спектроскопски двојне*.

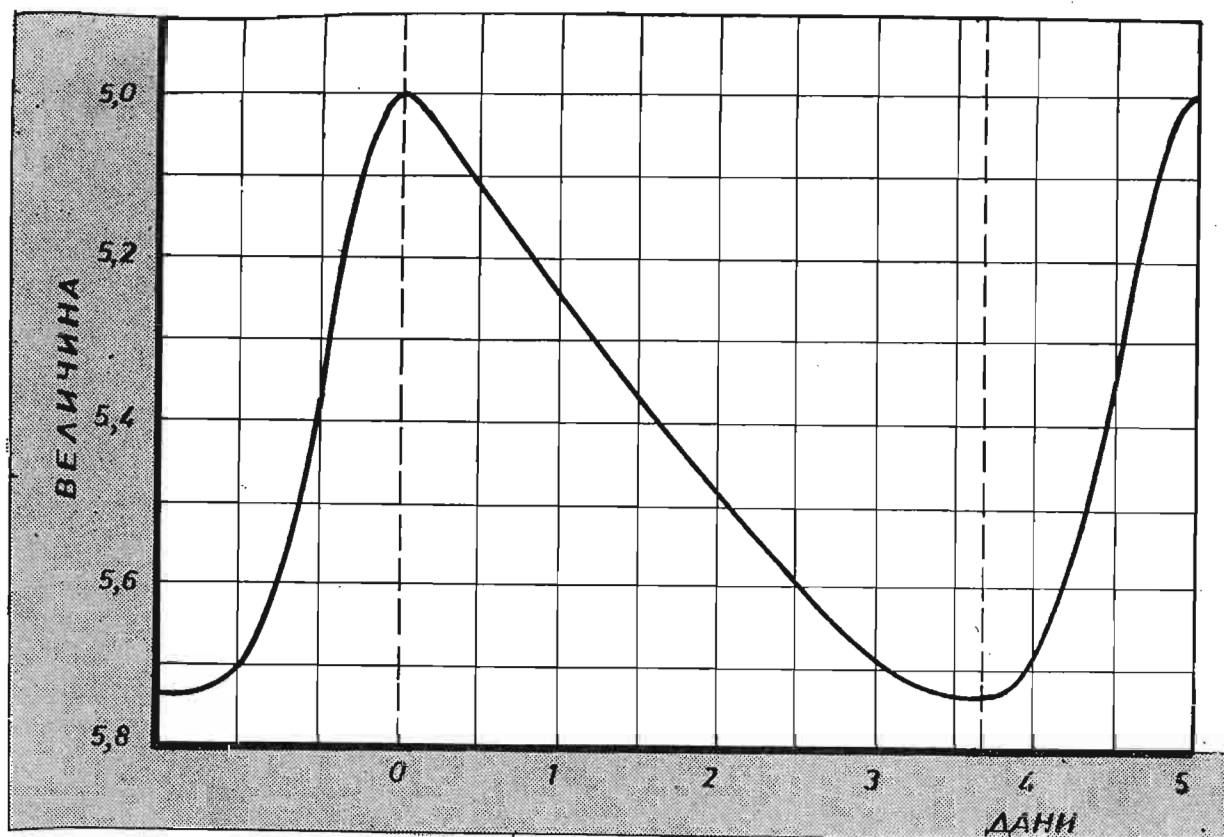
Еклипсне су оне двојне звезде чија равна путања револуције лежи тако према визури, да једна звезда периодично заклања другу. Због тога се укупан сјај, који потиче од обе звезде, периодично мења. Типична звезда ове врсте је Алгол (β Persei). Из облика *криве сјаја* може се закључити какве су геометријске особине путања, какав је сјај компонената и начин помрачивања. Код Алгола је једна компонента мање сјајна од друге, па због тога минимума на кривој промене сјаја показују знатне разлике (сл. 116). Промена сјаја код ових звезда настаје услед помрачења дела или читавог диска звезде од стране компоненте пратиље. *Због тога је промена сјаја ових звезда врло правилна*. Све звезде које се помрачују на овај начин називају се звезде Алголовог типа.



Сл. 116. Крива Алголовог сјаја

Видели смо да је код еклипсних звезда промена укупног сјаја привидна, она је изазвана помрачењима. Количина енергије коју зрачи свака компонента не мења се у току времена. То су стабилне звезде. За разлику од њих, постоје и физички променљиве звезде, које у току времена зраче различиту енергију.

12. 7. Променљиве звезде. — Ако је промена сјаја изазвана процесима у самој звезди, онда се такве звезде називају *физички променљиве*. Једна од најважнијих карактеристика сваке физички променљиве звезде је *крива промене сјаја*, која показује звездану величину у функцији времена. Разлика између минимума и максимума



Сл. 117. Крива сјаја δ Cephei

сјаја звезде назива се *амплитуда* сјаја, а време између два максимума (или минимума) назива се *циклус*. Код ових звезда код којих промена сјаја има правилан карактер циклус се назива *периодом*.

Све физички променљиве звезде делимо на *периодичне* и *неправилне*. Једна од најзначајнијих класа периодично променљивих звезда су *цефеиде*, па ћемо их посебно проучити.

Цефеиде. Тако се по звезди δ Cephei, назива велика класа периодично променљивих звезда. Сјај ових звезда се мења правилно, са дужом или краћом периодом, која код неких звезда траје око 40 дана, а код неких само 2 дана. Али за сваку звезду ове класе периода је увек стална и врло правилна. Амплитуда промене сјаја је 1—2 привидне величине.

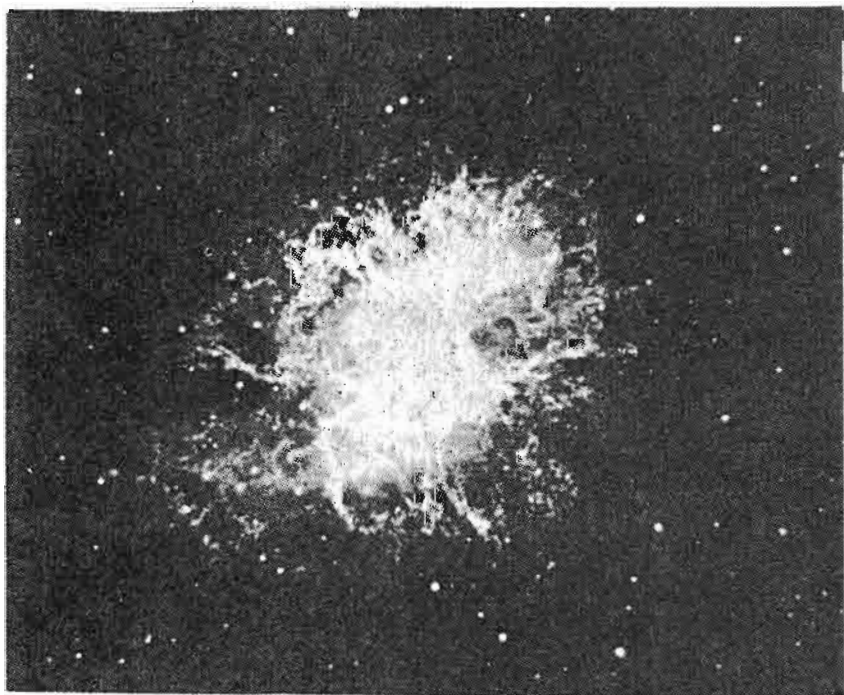
Типични представник ове класе звезда је δ Cephei, њена крива сјаја приказана је на слици 117. Видимо да је крива правилна, мада асиметрична. Пораст сјаја је бржи него његово опадање. Периода износи 5 дана, а амплитуда око 1^м.

Звезде ове класе су *цинови*, па се многе виде и голим оком. Врло значајна карактеристика ових звезда је веза која постоји између сјаја и периоде. *Што је већа апсолутна величина звезде, то је дужа периода промене њеног сјаја*. На основи те зависности могу се израчунати даљине *цефеида* све до границе нашег Звезданог система (Млечног Пута), па чак и даље. Ово је значајна метода за израчунавање даљина

врло далеких звезда (типа цефеида), чије су паралаксе толико мале да се ни најсавременијим мерним методама не могу мерити.

Да би се објаснила промена сјаја периодично променљивих звезда, постављена је хипотеза о *пулсирајућим звездама*⁴¹. Према овој хипотези, звезда пулсира, тј. мења величину (димензије) у ритму промене криве сјаја. У току тог времена она мења не само сјај већ и пречник, температуру и спектралну класу. То подразумева да се циновска гасовита лопта периодично надима и сплашњава. Заиста је код ових звезда, на основи мерења, утврђена промена спектралне класе и пречника. Да би ова хипотеза постала прихваћена теорија требало би знати узрок који доводи звезду у стање пулсирања, као и механизам који то стање подржава.

Неправилно променљиве звезде показују промене сјаја, које се, како нам се чини, дешавају без икакве законитости. Сасвим изненада на небу бљесне звезда, која је до тада била невидљива. У току неколико дана сјај ове „нове“ звезде се толико повећа да она често постане видљива и голим оком. Изузетно, оне могу да се виде и дању. Овакве звезде називају се *нове* и *супернове*. Њихова појава је врло спектакуларна и неочекивана. Амплитуда сјаја се код нових звезда повећа за 8—10 привидних величина, а код супернових још више, тако да се сјај звезде понекад повећа и сто милиона пута. Ове чудовишне промене сјаја указују да се на звезди дешавају катастрофалне промене, које мењају структуру звезде и њено физичко стање. На месту где су биле експлозије супернових звезда данас су снажни извори радио-таласа и космичких зракова. Краб-маглина (сл. 118), остатак супернове из 1054. год., данас је јак извор радио-та-



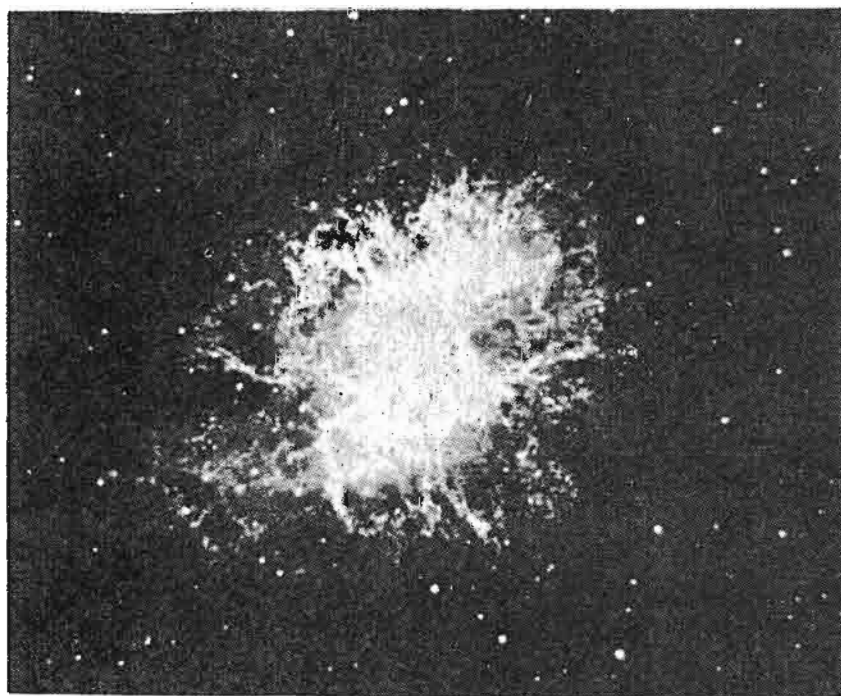
Сл. 118. Краб-маглина

⁴¹ Ове звезде не треба заменити са *пулсаторима* код којих не долази до пулсирања саме звезде.

врло далеких звезда (типа цефеида), чије су паралаксе толико мале да се ни најсавременијим мерним методама не могу мерити.

Да би се објаснила промена сјаја периодично променљивих звезда, постављена је хипотеза о *пулсирајућим звездама*⁴¹. Према овој хипотези, звезда пулсира, тј. мења величину (димензије) у ритму промене криве сјаја. У току тог времена она мења не само сјај већ и пречник, температуру и спектралну класу. То подразумева да се џиновска гасовита лопта периодично надима и спљашњава. Заиста је код ових звезда, на основи мерења, утврђена промена спектралне класе и пречника. Да би ова хипотеза постала прихваћена теорија требало би знати узрок који доводи звезду у стање пулсирања, као и механизам који то стање подржава.

Неправилно променљиве звезде показују промене сјаја, које се, како нам се чини, дешавају без икакве законитости. Сасвим изненада на небу бљесне звезда, која је до тада била невидљива. У току неколико дана сјај ове „нове“ звезде се толико повећа да она често постане видљива и голим оком. Изузетно, оне могу да се виде и дању. Овакве звезде називају се *нове* и *супернове*. Њихова појава је врло спектакуларна и неочекивана. Амплитуда сјаја се код нових звезда повећа за 8—10 привидних величина, а код супернових још више, тако да се сјај звезде понекад повећа и сто милиона пута. Ове чудовишне промене сјаја указују да се на звезди дешавају катастрофалне промене, које мењају структуру звезде и њено физичко стање. На месту где су биле експлозије супернових звезда данас су снажни извори радио-таласа и космичких зракова. Краб-маглина (сл. 118), остатак супернове из 1054. год., данас је јак извор радио-та-



Сл. 118. Краб-маглина

⁴¹ Ове звезде не треба заменити са *пулсаторима* код којих не долази до пулсирања саме звезде.

ласа, X зрачења и космичког зрачења, а у њој се налази и један пулсар.

Постоји још једна класа неправилно променљивих звезда. То су *еруптивни патуљци*, од којих су нарочито познате UV Ceti звезде. Оне се чешће јављају него нове и супернове и код њих се ослобађа далеко мања енергија. UV Ceti су црвени патуљци, звезде 4—5 пута мањег сјаја од Сунца. Када се на таквој звезди деси ерупција, она изненада повећа сјај за 1^m — 2^m у току 1—2 минуте, као да је на њој експлодирала хидрогенска бомба. Када се све смири, звезда поново постаје црвени патуљак — каква је и била. Ове ерупције донекле подсећају на Сунчеве ерупције.

Није вероватно да се катастрофе које се дешавају код супернових звезда могу десити на Сунцу. Оне су карактеристичне за веома вреле звезде, одређених спектралних типова, у које Сунце не спада.

ПИТАЊА

1. Шта је звездана паралакса?
2. Шта је парсек?
3. Шта је доказано мерењем звезданих паралакса?
4. Каква је разлика између привидне и апсолутне звездане величине?
5. Шта је сопствено кретање звезде?
6. Који је основни критеријум за физичку класификацију звезда?
7. Шта је H-R-дијаграм?
8. Шта је привидна, а шта права путања код двојних звезда?
9. Какве су звезде Алголовог типа?
10. Који су основни типови променљивих звезда?
11. Која је изузетно значајна карактеристика променљивих звезда типа цефеида?
12. Шта је Краб-маглина?

ГЛАВА ТРИНАЕСТА

ЗВЕЗДАНИ СИСТЕМИ И ГРАЂА ВАСИОНЕ

Звезде нису подједнако распоређене у простору. У неким деловима васионе оне су гушће, у неким ређе,⁴² образујући при томе одређене облике и системе. Простор између звезда испуњава међузвездана материја.

13.1. Звездана јата. — Група звезда чија су међусобна растојања мања него растојања звезда које их окружују, при чему сви чланови групе имају заједничко кретање — представља *звездано јато*. Претпоставља се да све звезде у једном јату имају заједничко порекло, што значи да су исте старости. Звездана јата деле се на:

- развејана, или галактичка, и
- збијена, или глобуларна.

Ова два типа јата разликују се по облику и размерама, по броју и густини звезда, по распореду у простору, итд.

Развејана, или галактичка јата садрже од неколико десетина до неколико стотина звезда. Све се звезде крећу у истом правцу. Ова јата се налазе у нашој Галаксији (Млечном Путу). Свако од развејаних јата има свој карактеристичан изглед, па се разликују међу собом. На слици 119 приказано је развејано јато — *Плејаде*, које се код нас назива *Влашићи*. Налази се у сазвежђу Бик. Голим оком се у њему види 6—7 звезда, а телескопом неколико стотина. У многим развејаним јатима запажене су двојне звезде.

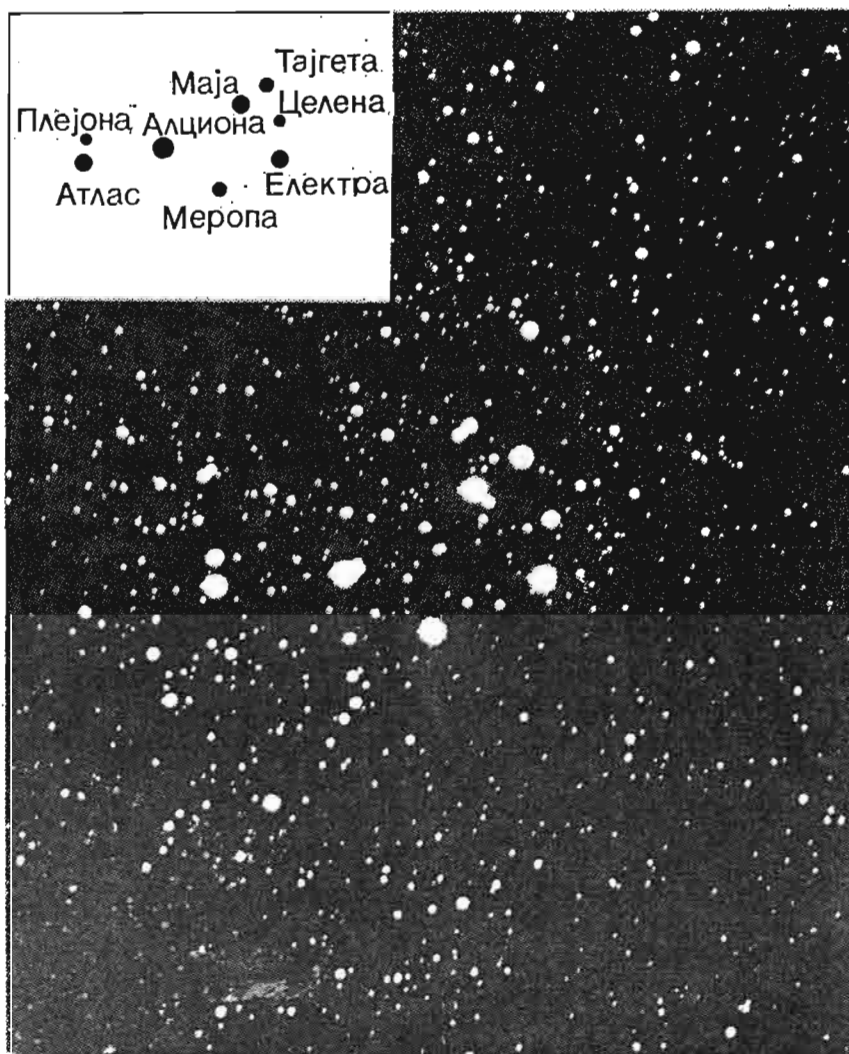
Збијена, или глобуларна јата садрже знатан број звезда, по неколико десетина, па и стотина хиљада, и много већу звездану концентрацију. За разлику од развејаних, ова јата имају правилан сферни облик. Нама најближе збијено јато голим оком се види као магличаста звезда врло слабог сјаја, а тек се јаким телескопом „распада“ на много хиљада звезда и, по речима америчког астронома Бејкера, личи на „небеску хризантему“ (сл. 120). Сва глобуларна јата личе једно на друго. Звезде су најгушће у средишту, док удаљавањем од њега концентрација опада, тако да је тешко одредити спољашње границе јата. Глобуларна јата су много даља од нас него растурена. Зато су њихова сопствена кретања веома мала, па се засад не могу

⁴² Термин „гушће“ и „ређе“ означава овде звездану концентрацију, тј. број звезда у одређеној запремини.

мерити. У многим глобуларним јатима има променљивих звезда типа цефеида, што је омогућило израчунавање њихових даљина.

Распоред јата у нашој Галаксији је карактеристичан. Глобуларна јата су распоређена сферно симетрично од средишта Галаксије према периферији. Сасвим друкчије су распоређена растурена јата. Она су већином концентрисана у равни Млечног Пута.

И развезана и глобуларна јата откривена су и ван наше Галаксије.



Сл. 119. Галактичко јато Влашићи или Плејаде

Звездане асоцијације. Совјетски астрофизичар Амбарцумјан обратио је пажњу на то да се најтоплије звезде класа О и В обично јављају у групама. Ове групе звезда су мање компактне од јата, па су назване *асоцијације*.

Звезде у асоцијацијама „држе“ се само слабом везама сопствене гравитације. Чињеница да се још нису разишле показује да за то нису имале довољно времена. То значи да се у асоцијацијама налазе врло младе звезде.

Пример асоцијације су 17 врелих звезда у сазвежђу Персеј. Оне се све крећу брзином од 14 km/sec у разним правцима. Тачка из које се разилазе вероватно је заједничко средиште из кога су настале пре само 1,3 милиона година, за разлику од других звезда које су неупоредиво старије. Ово је откриће изузетно важно за проучавање постанка и еволуције звезда (ближе о овоме дато је у последњој глави).

13.2. Међузвездана материја. — Материја која је концентрисана у звездама не исцрпљује све облике космичке материје. Простор између звезда садржи материју у два облика: као *међузвездану прашину* и *међузвездани гас*. Њихова густина је различита, али у просеку износи 10^{-4} g/cm³; овако изванредно високо разређење није постигнуто никаквом досада познатом техником на Земљи. Највећи део ове материје скупљен је у облацима, различитих облика, који се називају *маглине*.



Сл. 120. Збијено звездано јато

Међузвездана прашина састоји се од чврстих честица, пречника око 1 микрона (10^{-4} cm). На овим честицама врши се апсорпција, расејавање и поларизација светлости звезда. Управо користећи ове ефекте, ми и сазнајемо о постојању међузвездане прашине. Она у нашој Галаксији није равномерно распоређена. Најгушћа је у равни Млечног Пута. Са удаљавањем од те равни густина међузвездане прашине нагло опада. Порекло ових честица није сасвим разјашњено, па се не зна ни њихова природа. Оне могу да настану из ерупција променљивих звезда, нарочито оних које се распадају као што је случај код нових и супернових. А могу да настану и из спољашњих омотача који напуштају звезде.

Међузвездани гас састоји се претежно од водоника. Осим њега, откривено је око двадесет различитих молекула, нпр. амонијак (NH₃), формалдехид (H₂CO), метил-алкохол (CH₃OH), водена пара (H₂O), хидроксил (OH) и др. Водоник се налази у јонизованом и неутралном стању. Јонизовани водоник емитује спектар који је добро познат из лабораторијских огледа на Земљи. Он зрачи у видљивом делу спектра. Неутралан водоник је регистрован у васиони тек 1951. год. Проблем је у томе што неутралан водоник емитује енергију која је нижа од енергије јонизованог водоника. Таласна дужна емисије неутралног водоника $\lambda = 21$ cm, а фреквенција $f = 1420$ MHz. То значи да неутралан водоник емитује линију која не лежи у видљивом него у радио-фреквентном делу спектра. Тек је усавршавањем радио-астрономије постало могуће регистровати ову линију из далеких простора васионе. То је био велики успех радио-астрономије, посебно значајан за проучавање структуре наше Галаксије.

Маглине. Маглине су згушњења међузвездане прашине и гаса. Светле мрље на небу, слабог сјаја, назване су маглинама још у давна времена. За неке од њих је касније установљено да су глобуларна јата,

а за неке да не припадају нашој Галаксији, већ да су то звездани системи слични нашем, али на много већим даљинама. Данас се ови звездани системи називају вангалактичке маглине или спољашње галаксије. Праве маглине су кондензација међузвездане материје у разним облицима.

Маглине могу бити *дифузне* и *планетарне*. Дифузне маглине се деле на *светле* и *тамне*.

Светле дифузне маглине се обично налазе у близини врло топлих звезда, па гасови маглине бивају јонизовани, тако да ове маглине светле или због јонизованих гасова или због расуте светлости звезда на честицама прашине. Једна од најпознатијих маглина ове групе је велика Орионова Маглина (сл. 121). Она се једва види голим



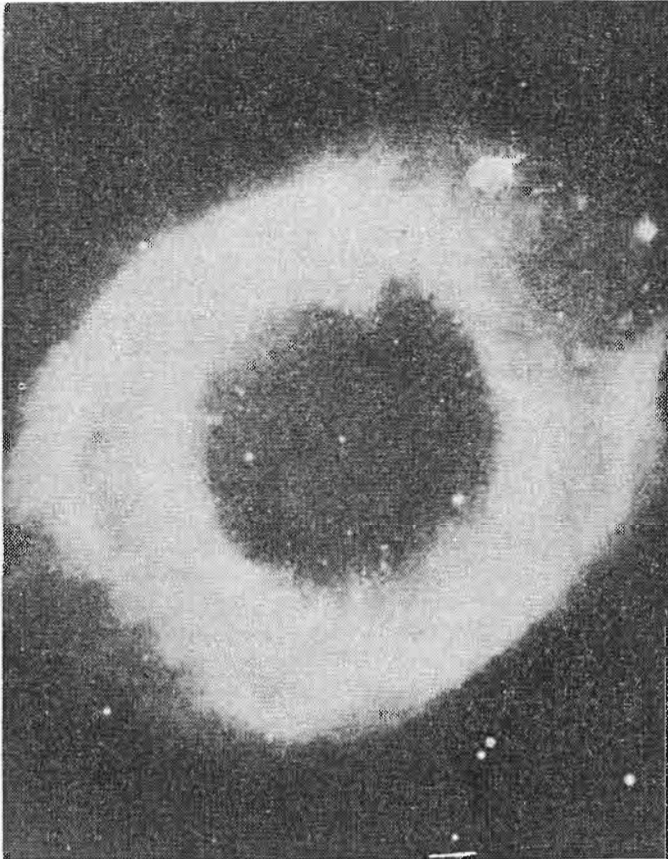
Сл. 121. Орионова Маглина



Сл. 122. Тамна маглина — Коњска Глава

ском, али се помоћу телескопа види као облак који окружује групу звезда класе О. Нехомогене је структуре и просечне густине око хиљаду пута веће од међузвездане материје (10^{-21} g/cm³).

Тамне дифузне маглине састоје се углавном од међузвездане прашине, па своје присуство показују апсорбујући светлост звезда иза себе. Неке се виде голим оком, а већина помоћу телескопа. Изгледају као тамне области без иједне звезде. Пошто су разноврсних облика, то су и добиле имена према облицима на које подсећају. На слици 122 приказана је тамна маглина „Коњска Глава“.



Сл. 123. Планетарна маглина

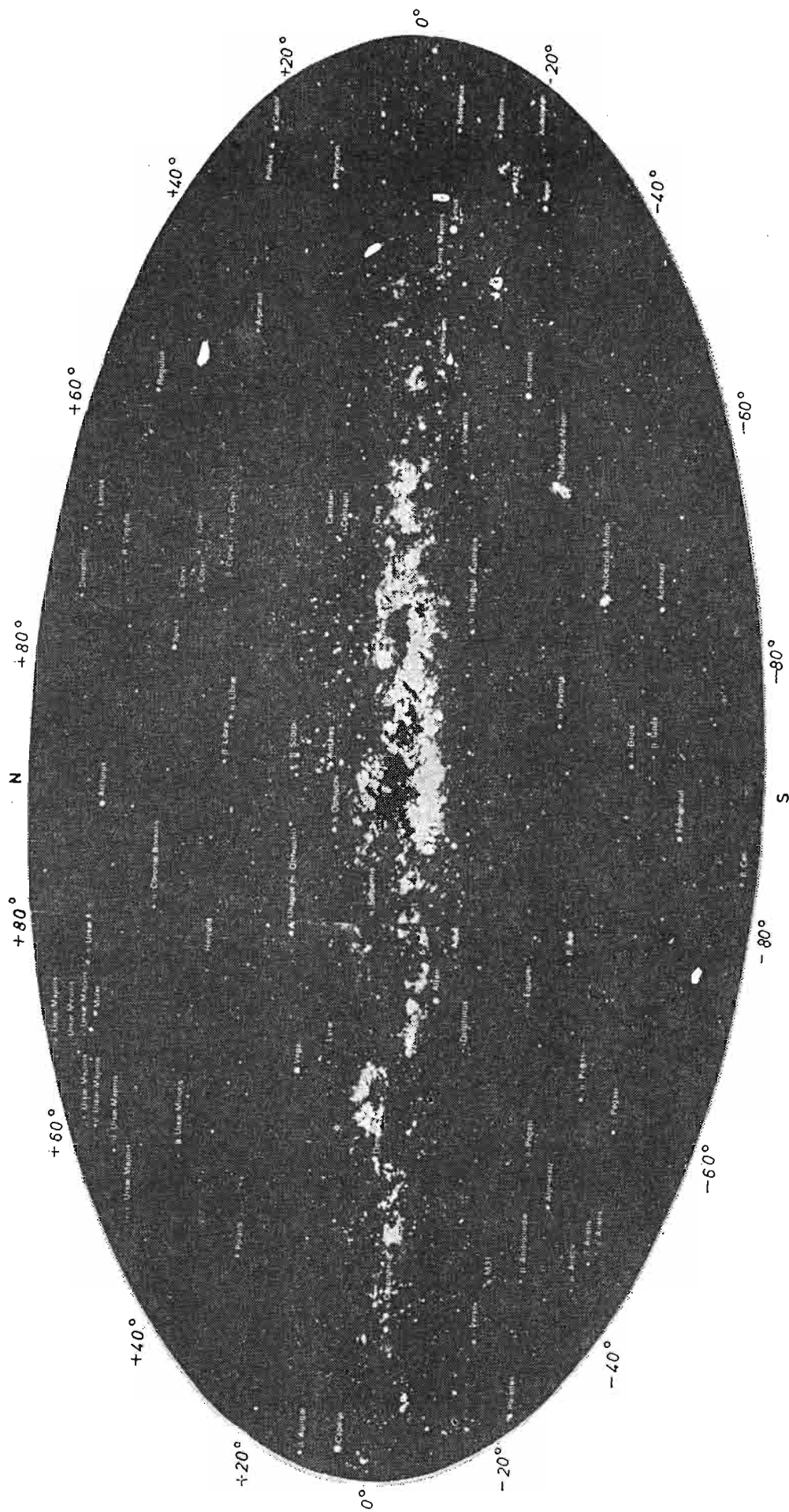
Планетарне маглине имају облик елиптичне или кружне плочице, или прстена са звездом у средини (сл. 123). Посматране кроз мањи телескоп личе на планете, па су тако и добиле име. Донедавно се знало само за око 100 планетарних маглина у нашој Галаксији, али се за последњих 40 година, усавршавањем посматрачке технике, тај број повећао на око 600.

Звезде у средишту ових маглина су врло значајне за проучавање еволуције звезда. То су врло вреле звезде класе О, али изузетно слабог сјаја и огромне густине.

13.3. Млечни Пут. —

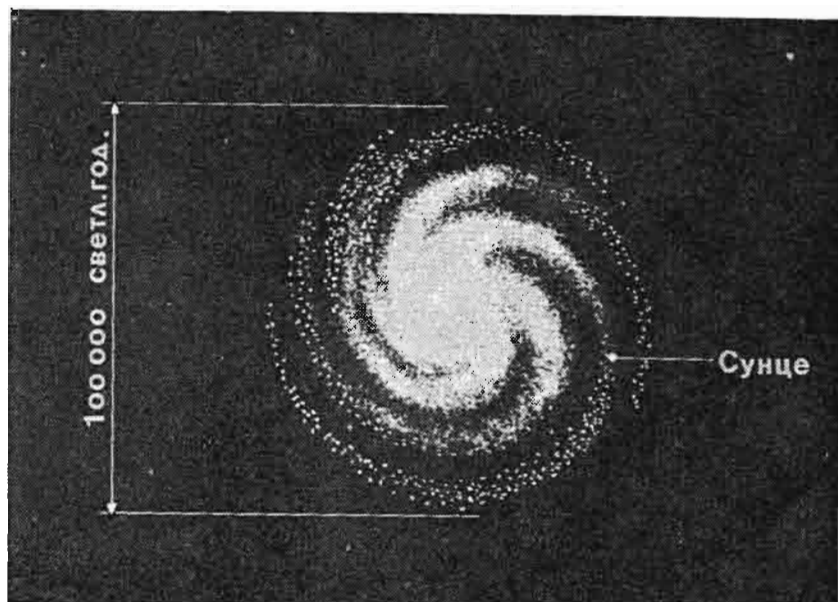
Млечни Пут је беличасти појас на небу који је још Галилеј својим дурбином

„раставио“ на звезде. Днас се зна да је то пројекција нашег Звезданог система, Галаксије, на небеску сферу. Млечни пут образује на небу круг чија се централна линија скоро поклапа са великим кругом небеске сфере, а са небеским екватором заклапа угао од око 62° . Због овог нагиба Млечни Пут има разне положаје током ноћи и у разним годишњим добима. На Млечном Путу постоје области веће и мање густине (сл. 124). Наш Звездани систем може се приказати у две пројекције: као спирала (сл. 125) или као двогубо испупчено сочиво (сл. 126). Раван симетрије наше Галаксије назива се *галактичка раван*. Пречник Галаксије у овој равни је око 30 килопарсека. Област у близини галактичког средишта је врло сјајна и назива се *галактичко језгро*. Од галактичког језгра одвајају се две спиралне гране у којима се налази велики број звезда окружен међузвезданом материјом. Сматра се да Галаксија има око сто милијарди звезда. Спирална структура

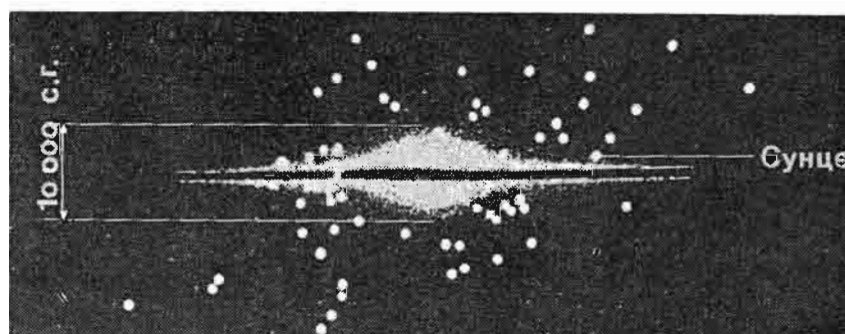


Сл. 124. Млечни Пут

наше Галаксије, као и неких других звезданих система изван нашег, са сигурношћу је установљена захваљујући десетогодишњем програму проучавања зрачења неутралног водоника на 21 см. Овај опсежан програм посматрања извршен је великим радио-телескопима у Холандији и Аустралији у периоду од 1951. год. до 1961. године.



Сл. 125. Спирална структура наше Галаксије



Сл. 126. Галаксија у другој пројекцији

Сунце не заузима централни положај у Галаксији. Амерички астроном Шепли разбио је 1919. год. илузију да је Сунце у центру нашег Звезданог система, као што је то Коперник учинио 1543. год. за Земљу. Сунце се налази у галактичкој равни на око 10 килопарсека од њеног центра.

Осим звезда и међузвездане материје, у саставу наше Галаксије налазе се: звездана јата (развејана и збијена), маглине (дифузне и планетарне), као и наш планетни систем и, вероватно, и други планетни системи. Не треба да заборавимо ни *космичке зраке*. То су наелектрисане честице огромних енергија, најчешће протони и електрони, који се крећу брзинама блиским брзини светлости. Неке од ових честица имају тако огромне енергије да оне далеко превазилазе енергије добијене убрзавањем честица у најсавременијим лабораторијама на

Земљи. Још увек нема поузданих теорија о пореклу космичких зракова, мада се претпоставља да настају у експлозијама супернових звезда. Доказано је да малу количину космичких зракова производи Сунце за време ерупција.

Наша Галаксија није само извор светлости. Она такође емитује и радио-таласе. Целокупно радио-зрачење Галаксије је слабије од оптичког за око сто хиљада пута. Сматра се да Галаксија има своје магнетско поље. Проучавање радио-таласа и космичких зракова треба да омогући тачније одређивање јачине, структуре и порекла галактичког магнетног поља.

Сплљштени облик и нагомилавање материје у галактичкој равни одмах указују на ротацију Галаксије. Утврђено је да Галаксија ротира око осе која је нормална на галактичку раван и пролази кроз њен центар. Око ове осе ротирају све звезде, па и наше Сунце. Пошто Галаксија није чврсто тело, то се њени разни делови обрћу око осе различитим брзинама. На месту на коме се налази Сунце звезде ротирају око галактичког центра брзином од око 220 km/sec. Сунчев систем такође учествује у овом општем кретању. Сматра се да је Галаксија стара око 12—15 милијарди година.

Да би се боље упознала структура Галаксије, осим оптичке, у последње се време много користи и радио-астрономија.

13. 4. Други звездани системи. — Наша Галаксија није једини звездани систем. У васиони постоји велики број спољашњих галаксија, од којих свака садржи више милијарди звезда. Спољашње галаксије можемо видети у свим правцима. Ни простор између галаксија није апсолутно празан, већ је испуњен изванредно ретком, тзв. *међугалактичком материјом*.

Велике даљине до спољашњих галаксија знатно отежавају проучавање, па се њихова класификација врши по морфолошким, а не по физичким карактеристикама. Све галаксије делимо на три основна типа: *спиралне, елиптичне и неправилне*.

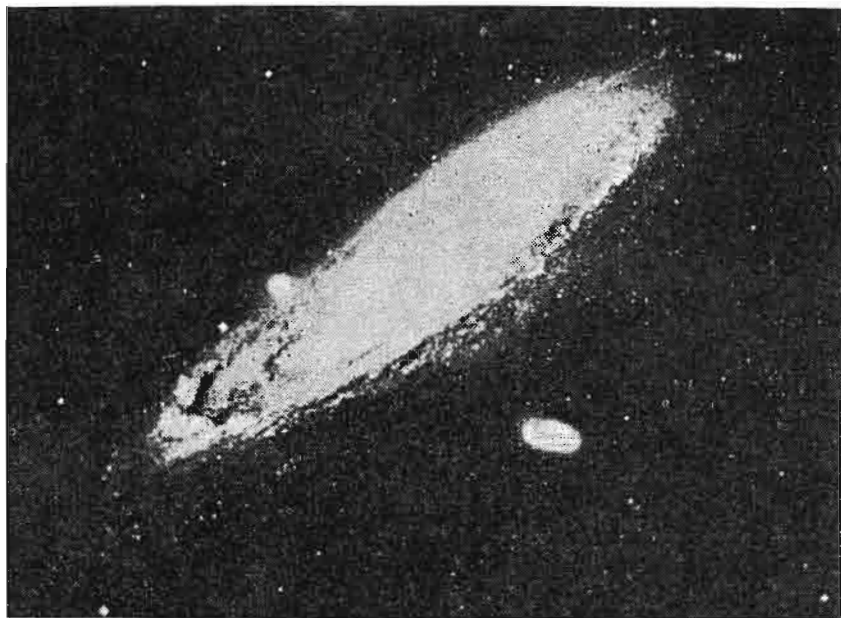
Спиралне галаксије су најсјајније. Оне имају у својој галактичкој равни сочивасто средишно језгро и спиралне гране. Галаксија у Андромеди (сл. 127) је једна од нама најближих. Њено проучавање је много помогло да схватимо грађу наше Галаксије. Астрономија располаже многим чињеницама на основи којих се може утврдити да је наша Галаксија, спиралне структуре, веома слична Андромединој.

Ознака спиралне галаксије у сазвежђу Андромеда је *M 31* или *NGC 224*. Она је већа од наше Галаксије. Њен галактички пречник је око 60 килопарсека. *M 31* има, осим звезда, своја глобуларна јата и дифузне маглине. Удаљена је од нас око два милиона светлосних година.

Разне спиралне галаксије су различито окренуте у простору, тако да неке гледамо „с лица“, а неке „с бока“. Спиралне галаксије ротирају.

Елиптичне галаксије су најмасивније. Оне имају различиту спљштеност. Неке од њих су сателити спиралних галаксија (сл. 127).

Неправилне галаксије имају различите облике. Најпознатије су, нама најближе две галаксије: Мали и Велики Магеланов Облак. Они се виде на јужном небу и голим оком (сл. 128).



Сл. 127. Спирална галаксија у Андромеди М31 са две елиптичне галаксије



Сл. 128. Велики Магеланов Облак

Савремена астрономија је успела да савлада огромне даљине у проучавању васионе. Због тога се јавила потреба за увођењем већих јединица за дужину. Осим *килопарсека* (хиљаду парсека), у вангалактичкој астрономији често се користи и *мегапарсек* (милион парсека). На

огромном простору у свим правцима око Млечног Пута налази се око милијарду галаксија. Неке су усамљене, а неке се окупљају у јата (као и звезде). Растојања између галаксија су већа него што су димензије самих галаксија. Простор између галаксија испуњава *међугалактичка материја* о којој, за сада, врло мало знамо. Јата галаксија најчешће садрже око 10 галаксија, али их има и са знатно већим бројем.

Постојање звезданих система било је повод за претпоставку о хијерархијској грађи васионе, при чему систем вишег реда може имати нове квалитативне особине. Тако се јавила идеја о постојању *циновског аутономног система* који садржи све досад познате галаксије, јата галаксија и међугалактичку материју. Овај хипотетички систем назван је *Метагалаксија*.

Границе Метагалаксије означавају астрономску васиону. То је простор из кога нам стижу обавештења путем електромагнетних таласа које региструјемо и проучавамо. Засад не постоје могућности да се упознају ванметагалактички системи.

Учињени су многи покушаји да се упознају својства Метагалаксије. На основи података који су доступни посматрањима, и уз претпоставку да важе физички закони конзервације, предложено је више космолошких модела.

Ако у локалним областима и постоји већа или мања концентрација галаксија, у великим размерама Метагалаксије та нехомогеност се губи. *Хомогеност* простора је једна од његових значајних карактеристика. Простор је *изотропан*, јер има исте особине у свим правцима. Ово је његова друга значајна особина.

Током вишегодишњих проучавања галаксија запажено је да све имају једну заједничку особину. Линије у њиховом спектру показују карактеристично померање ка дужим таласима, тј. ка црвеној боји. Ова необична особина названа је *црвени помак*. Посебно је интересантно да постоји одређена веза између даљине галаксије и величине њеног црвеног помака.

Црвени помак је утолико већи уколико је галаксија даља (Хаблов закон).

Ако се ова појава протумачи Доплеровим ефектом, онда долазимо до закључка да се галаксије удаљују једна од друге и то утолико већом брзином уколико се налазе на већој даљини. Црвени помак Хабл је протумачио као разилажење галаксија, па је то послужило као основа за модел васионе која се шири (хомогени експандујући модел). У прилог оваквом моделу иде и недавно откривено радио-зрачење слабог интензитета које је вангалактичког порекла и које долази из свих праваца (изотропно), а представља зрачење „црног тела“, температуре свега 3°К. Претпоставља се да је то охлађено зрачење које потиче из времена „велике експлозије“.

Недавно су откривени објекти који имају тако велики црвени помак да се (ако је тачна претпоставка о њиховом реалном удаљавању) крећу кроз простор брзинама које достижу око 90% брзине светлости.

Ови новооткривени објекти емитују огромну енергију у ултраљубичастом и радиофреквентном делу спектра. Названи су *квасари*. Сматра се да су то врло далеки објекти. Можда су неки и на граници Метагалаксије, дакле најдаљи досад откривени, а према томе и *најстарији објекти* које познајемо.

Ако објашњење за црвени помак није Доплеров ефекат, већ нека друга појава, нпр. скретање електромагнетног таласа у јаком гравитационом пољу, онда квазари не би били ни тако далеки, ни тако стари објекти. Ово је за сада отворено питање и једна од великих загонетки природе.

Последњих година квазари су у центру пажње астронома, како због природе и енергије зрачења, тако и због улоге коју могу имати за боље разумевање проблема постанка васионе.

Хомогеност и изотропност простора уз разилажење галаксија и квазара треба да означава ширење васионе. Бесконачност простора и времена подразумева васиону без граница. Ширење васионе може да буде и само једна фаза у

њеној еволуцији, а да затим настане скупљање. То је тзв. *пулзирајући модел* васионе.

Проблеми структуре, модела, постанка и развоја васионе су вероватно најинтересантнији, али и најсложенији научни проблеми. Они прелазе оквире овог уџбеника. Научна дисциплина која се бави проучавањем ових проблема назива се *космологија*.

ПИТАЊА

1. Које су разлике између галактичких и глобуларних јата?
2. Шта чини међузвездану материју?
3. Каква је структура и које су приближне димензије наше Галаксије?
4. Којом је методом установљена спирална структура наше Галаксије?
5. Који су главни типови осталих галаксија?
6. Шта је Метагалаксија?
7. Шта су квазари?

ГЛАВА ЧЕТРНАЕСТА

ПОСТАНАК И РАЗВОЈ НЕБЕСКИХ ТЕЛА

Проблем постанка и развоја (еволуције) небеских тела у тесној је вези са космолошким проблемима. То је стари и вероватно најсложенији проблем астрономије који су покушавали да реше многи научници и који је још увек далеко од коначног решења. На овим проблемима радили су и наши академици Павле Савић⁴³ и Радивоје Кашанин.

Проблем можемо раздвојити на: порекло и еволуцију звезда и на порекло и еволуцију нашег планетског система. Мада то може изгледати нелогично, али ми више знамо о пореклу и еволуцији звезда него нашег планетског система. Вероватно је могућност да истовремено посматрамо много звезда у разним фазама еволуције знатно олакшала њихово проучавање. Основна тешкоћа је у кратком трајању људског живота, па и читаве цивилизације, у односу на споре промене на звездама и планетама.

Наш планетски систем је једини који познајемо и нисмо у могућности да га упоређујемо и изводимо одговарајуће закључке. Због тога ћемо прво изложити основе звездане еволуције.

14. 1. Постанак и еволуција звезда. — Током последњих неколико десетина година много су се изменила и обогатила наша знања о проблему постанка и еволуције звезда. Нуклеарна физика је објаснила изванредно важан физички процес — фузију лаких елемената у теже. Овакве реакције дешавају се при температурама од десетак и стотину милиона степени, а такве су управо температуре у звезданим унутрашњостима. Реакције се дешавају уз ослобађање огромне енергије и називају се *термонуклеарне реакције*.⁴⁴

Већина астронома данас сматра да се звезде стварају кондензацијом међузвездане материје у погодним условима.

Изложићемо укратко најновије тумачење звездане еволуције не улазећи у детаље звезданих модела, гравитационог сажимања и термонуклеарних реакција.

⁴³ У својој књизи „Од атома до небеских тела“ Павле Савић је изложио концепцију својих радова о пореклу ротације небеских тела, еволуцији система честица Галаксије, нашег планетског система и др. на нивоу који може да прати ученик средње школе.

⁴⁴ Пример такве реакције је експлозија водоничне бомбе.

Облак међузвезданог гаса најпре је ниске температуре (око -200°C), али се под дејством сопствене гравитације згушњава и загрева. Од момента почетка кондензације међузвездане материје до момента када се у унутрашњости облака створе услови за почетак термонуклеарних реакција ова се фаза у еволуцији звезде назива фаза — *протозвезде*. Протозвезда због ниских температура не емитује видљиву светлост у дужем периоду свога живота и зато је не видимо.

При даљем сажимању унутрашња температура достиже милион до десет милиона Целзијусових степени; почињу термонуклеарне реакције и протозвезда постаје звезда, која емитује видљиву светлост. Приликом термонуклеарних реакција, при којима се најзаступљенији елемент у звезди — водоник претвара у хелијум, ослобађа се огромна енергија која се преноси кроз омотаче и даље у простор који окружује звезду.

Од масе, температуре у језгру, механизма преношења топлоте и других услова зависи еволуциони пут звезде. У звезди која има масу као наше Сунце, па и већу, после сагоревања водоника почиње да сагорева хелијум и при томе она добија сложену структуру. Њени омотачи се нагло шире и хладе док се језгро сажима и загрева. Звезда постаје црвени џин. Када престану термонуклеарне реакције, звезда почиње да се скупља све више и више. Њена густина расте најпре само у унутрашњости, а затим и ка периферији.

На тај начин се звезда претвара у белог патуљка, који је једна од последњих фаза умируће звезде. Бели патуљак наставља да се хлади, прелази у црвеног, инфрацрвеног и најзад у црног патуљка, тј. мало хладно тело које више не светли и тако престаје да буде звезда.

Од почетне масе звезде углавном зависи њен еволуциони пут. Неке звезде при крају живота пролазе кроз фазу неутронских звезда (пулсари). Неке, ако су имале велику масу ($M = 10 M_{\odot}$), кад истроше термонуклеарно „гориво“, почињу тако брзо да се сажимају да наступи *гравитациони колапс* или експлодирају као супернове.

Тако се од најједноставнијег елемента — водоника термонуклеарним реакцијама у звездама стварају све тежи елементи: хелијум, угљеник, азот, магнезијум, силицијум, итд. Од међузвездане материје образују се разни типови звезда да би у дугом путу еволуције, који траје десетине милијарди година, неке звезде постале невидљиви патуљци, а неке су се уз страховите експлозије распале и делом растуриле поново у међузвездану материју.

Наше Сунце је звезда средње величине, која у средишту „сагорева“ водоник. Прорачуни показују да је Сунце старо око 5 милијарди година и да ће као звезда да живи бар још толико.

У ближој будућности не прети нам катастрофа ни од изненадног раздувавања Сунца у фазу црвеног џина који би нас сагорео, ни ледена смрт од сажимања Сунца у белог патуљка. Сунце се сада налази у фази стабилне звезде која зрачи стално исту количину енергије.

14. 2. Постанак Сунчевог система. — Иако је порекло Сунчевог система један од најстаријих проблема астрономије, још ни данас, после толиког напретка науке, нема теорије која би објаснила све познате карактеристике тог система. Не може се прихватити теорија која објашњава само кретања, а не може да објасни физичке особине планета.

Највећи број постојећих теорија заснован је на неколико карактеристичних особина планета, које су толико уочљиве да се не могу ни занемарити, ни сматрати случајним. То су:

- 1) Путање свих планета и већине астероида леже приближно у једној равни, а у истој равни је приближно и Сунчев екватор.
- 2) Путање великих планета имају мали ексцентрицитет.
- 3) Смер обилажења свих планета око Сунца је исти и поклапа се са смером Сунчеве ротације.
- 4) Све планете ротирају у истом смеру као Сунце⁴⁵.
- 5) Растојања планета од Сунца померају се простом емпиријском Тицијус—Бодевом правилу:⁴⁶

$$a_n = 4 + 2^n,$$

где је a_n велика полуоса путање n -те планете.

6) Планете имају знатно већи моменат количине кретања него Сунце.

Ове особине очигледно наводе на идеју о заједничком пореклу планета, те се сваки изузетак од правила приписује неком догађају који је настао после образовања планетног система.

Треба обратити пажњу да су све побројане особине везане за кретање планета. Ако поведемо рачуна о физичким карактеристикама: маси, густини, атмосфери, хемијском саставу, итд., онда је очигледна разлика која постоји између планета Земљиног и Јупитеровог типа. Затим, Земља и Венера, које су скоро идентичне по димензијама, маси и густини, врло се много разликују по саставу атмосфере, притиску и температури. Ретроградна и спора ротација Венере, ретроградно кретање неких сателита Јупитера, Сатурна и Нептуна, различит састав стена на Месецу и Земљи итд. — то су све чињенице преко којих се не може прећи, а које кваре хармоничну слику кретања планета Сунчевог система.

Први озбиљан покушај да објасни порекло нашег планетног система учинио је (1755. год.) немачки филозоф Кант. Четрдесет година касније француски математичар Лаплас поставља хипотезу да је Сунце постало од велике ротирајуће гасовите маглине. При згушњавању маглине повећавала се брзина ротације, што је довело до њене спљоштености у близини полова и до испупчења у области екватора. Рачуни су показали да гасовита материја може да напусти брзо ротирајућа екваторска подручја и образује прстенове који се крећу око Сунца, а леже изван њега. Из оваквих прстенова, по претпоставци, образовале су се планете. Ова хипотеза, која је названа Кант-Лапласова, била је општеприхваћена све до краја XIX века.

⁴⁵ Венера је изузетак од овог правила.

⁴⁶ Одступања од овог правила изложена су у 9.1.

У току XIX века извршен је низ нових открића која су, као што смо изнели, почела да кваре хармоничну слику која се тако добро слагала са Кант-Лапласовом хипотезом.

Појавиле су се многобројне хипотезе које можемо сврстати у две групе:

- хипотезе судара,
- хипотезе Сунчеве маглине.

Присталице хипотезе судара сматрале су да је нека звезда прошла тако близу Сунца да је под утицајем овог „судара“ из обе звезде истекла маса гаса, која се затим охладила и образовала мале честице „планетезимале“. Под погодним условима, услед сопствене гравитације, ове честице су се кондензовале и образовале планете. Ова хипотеза је мало вероватна, јер су астрономи доказали да је судар двеју звезда у околини Сунца крајње невероватан.

Хипотеза Сунчеве маглине је у својој основи Кант-Лапласова идеја, али, знатно измењена и допуњена новим сазнањима до којих се дошло у овом веку. Од посебног су значаја радови из области нестабилности плазме и улоге коју има магнетно поље „прото-Сунца“ на успоравање Сунчеве ротације. Управо је спора ротација Сунца⁴⁷ дуго била један од озбиљних проблема хипотезе Сунчеве маглине. Данас се сматра да је Сунчев ветар могао да успори Сунчеву ротацију. Можемо рећи да је општеприхваћено мишљење да су се планете образовале од Сунчеве маглине. Разлике у гледиштима настају када се постави питање какав је еволуциони пут прешла та маглина да би образовала тела тако различитог хемијског састава, као што показују најновија хемијска истраживања у Сунчевом систему. По сличности хемијског састава, сва тела у Сунчевом систему можемо сврстати у три групе:

- I. Планете Земљиног типа, њихови сателити и метеорити.
- II. Сунце и џиновске планете (Јупитер и Сатурн).
- III. Комете и сателити џиновских планета.

Постоји велика вероватноћа да су се од гасовито-честичног облака, каква је била Сунчева маглина, у процесу хлађења кондензовале, тј. образовале најпре честице *протопланете*. Пресудни фактор у овој кондензацији имала је температура. Значи, најпре су се, при релативно високој температури, кондензовале честице стена и метала. Њих је било најмање у примарној маглини — око 0,1%, што би могло да објасни зашто су у даљем процесу образовања ове честице образовале мала тела I групе. Осим тога, она су и најближа Сунцу, где је температура највиша⁴⁸.

Даљим хлађењем Сунчеве маглине дошло је до кондензације амонијака у чврсте честице које су привукле огромне масе најзаступљенијих елемената водоника и хелијума и тако образовале две највеће планете у Сунчевом систему: Јупитер и Сатурн, чији је састав најсличнији Сунцу (II група).

⁴⁷ Сунце ротира брзином од свега 2 km/s, а по својој спектралној класи (G) требало би да ротира брзином од око 60 km/s.

⁴⁸ Нећемо разматрати који је механизам стварања планета од кондензованих честица (протопланета) вероватнији: да ли хомогена кондензација или нехомогено прирастање честица, тим пре што је питање још увек отворено.

Када је температура Сунчеве маглине пала на око $50\text{--}70^\circ\text{K}$, односно на око -200°C , кондензовале су се честице које су образовале тела треће групе, тј. комете и сателите Јупитера, Сатурна, Урана и Нептуна.

Ово би била укратко изложена модификована хипотеза постанка планетског система из Сунчеве маглине, коју прихвата данашња наука. Она још увек није објаснила све запажене чињенице.

Надајмо се да ће непосредна мерења и испитивања наших планета — суседа да олакшају решавање овог интересантног проблема.

Ако се хипотеза о Сунчевој маглини покаже тачном, онда се са великом вероватноћом може тврдити да једна на сваких хиљаду звезда у нашој Галаксији може да има свој планетни систем, јер је он споредни производ при образовању звезда.

ПИТАЊА

1. Да ли је лакше објаснити постанак и еволуцију звезда или планетног система? Због чега?
2. Који је наш научник радио на овим проблемима?
3. Шта је „прото-звезда“?
4. Које чињенице поткрепљују Кант-Лапласову хипотезу?
5. Која нова открића нарушавају хармоничну слику планетног система?

П Р И Л О З И

ПРИЛОГ I

Важније величине

Привидни угловни пречник Сунца и Месеца	$1/2^\circ$
Нагиб еклиптике према екватору	$23,5^\circ$
Разлика екваторског и поларног пречника Земље	21 km
Средњи Земљин полупречник	6 370 km
Дужина тропске године	365 ^d 5h 49m
Средња даљина Земље од Сунца (1 астрономска јединица)	149 600 000 km
Средња даљина Месеца од Земље	380 400 km
1 парсек 3,26 светлосне године	206 265 A.J.
Паралакса Сунца	8'',79
Брзина светлости	$299\,792,5 \times 10^3$ m/sec
Растојање од Сунчева система до најближе звезде (α Centauri)	4 свет. год. или $1\frac{1}{3}$ ps
Пречник нашег Звезданог система — Галаксије	30 000 ps
Дебљина Галактичког језгра	5 000 ps
Маса Галаксије	$1,5 \times 10^{11}$ Сунчевих маса
Удаљеност Сунца од центра Галаксије	10 000 ps
Број звезда које се виде на целом небу голим оком	6 000
Даљина најближе спиралне галаксије М 31	700 000 ps
Средњи, период промене броја Сунчевих пега	11 година
Полупречник Месеца (у поређењу са Земљиним)	$\frac{1}{4}$
Полупречник Сунца (у поређењу са Земљиним)	109
Пролећна равнодневица (око 21. марта)	
Летњи солстициј (око 22. јуна)	
Јесења равнодневица (око 23. септембра)	
Зимски солстициј (око 22. децембра)	

ПРИЛОГ II

Највећи оптички телескопи у свету

Телескопи — рефлектори:

Кримска опсерваторија, СССР	$D = 594 \text{ cm}$
Хејл опсерваторија, Паломар, САД	$D = 508 \text{ cm}$
Лик опсерваторија, САД	$D = 305 \text{ cm}$
Кримска опсерваторија, СССР	$D = 264 \text{ cm}$
Кит Пик, САД	$D = 213 \text{ cm}$

Телескопи — рефрактори:

Јеркска опсерваторија Чикашког универзитета, САД	$D = 102 \text{ cm}$
Пулковска опсерваторија, СССР	$D = 65 \text{ cm}$
Београдска опсерваторија	$D = 65 \text{ cm}$

ПРИЛОГ II

Највећи оптички телескопи у свету

Телескопи — рефлектори:

Кримска опсерваторија, СССР	$D = 594 \text{ cm}$
Хејл опсерваторија, Паломар, САД	$D = 508 \text{ cm}$
Лик опсерваторија, САД	$D = 305 \text{ cm}$
Кримска опсерваторија, СССР	$D = 264 \text{ cm}$
Кит Пик, САД	$D = 213 \text{ cm}$

Телескопи — рефрактори:

Јеркска опсерваторија	
Чикашког универзитета, САД	$D = 102 \text{ cm}$
Пулковска опсерваторија, СССР	$D = 65 \text{ cm}$
Београдска опсерваторија	$D = 65 \text{ cm}$

ПРИЛОГ III

Подаци о Земљи

Екваторски полупречник	6378,2 km
Поларни полупречник	6356,8 km
Средњи полупречник	6370,0 km
Површина копна	29,2%
Водена површина	70,8%
Запремина	$1,08 \times 10^{12} \text{ km}^3$
Маса	$5,98 \times 10^{22} \text{ kg}$
Средња густина	$5,5 \text{ kg/m}^3$
Средња брзина кретања по орбити	29,8 km/sec
Гравитационо убрзање	$9,81 \text{ m/sec}^{-2}$
Нагиб екватора према еклиптици	$23^{\circ}27'$
Прва космичка брзина	7,9 km/sec
Друга космичка брзина	11,2 km/sec
Старост	око $4,5 \times 10^9$ година

Подаци о Месецу

Средња даљина Месеца од Земље	384 400 km или $60 R_{\oplus}$
Средњи угловни пречник	$31'5''$
Полупречник	1738 km
Запремина	$2,19 \times 10^{10} \text{ km}^3$
Маса	$7,35 \times 10^{22} \text{ kg}$ или $1/81 M_{\oplus}$
Средња густина	$3,3 \text{ kg/m}^3$
Гравитационо убрзање на површини	$1,62 \text{ m/sec}^{-2}$
Нагиб екватора према еклиптици	$1^{\circ}32'$
Сидерички месец (једнак периоду ротације)	$29^{\text{d}},5$
Привидна звездана величина	— $12^{\text{m}},7$
Друга космичка брзина	2,4 km/sec

ПРИЛОГ III

Подаци о Земљи

Екваторски полупречник	6378,2 km
Поларни полупречник	6356,8 km
Средњи полупречник	6370,0 km
Површина копна	29,2%
Водена површина	70,8%
Запремина	$1,08 \times 10^{12}$ km ³
Маса	$5,98 \times 10^{22}$ kg
Средња густина	5,5 kg/m ³
Средња брзина кретања по орбити	29,8 km/sec
Гравитационо убрзање	9,81 m/sec ⁻²
Нагиб екватора према еклиптици	23°27'
Прва космичка брзина	7,9 km/sec
Друга космичка брзина	11,2 km/sec
Старост	око $4,5 \times 10^9$ година

Подаци о Месецу

Средња даљина Месеца од Земље	384 400 km или $60 R_{\oplus}$
Средњи угловни пречник	31'5''
Полупречник	1738 km
Запремина	$2,19 \times 10^{10}$ km ³
Маса	$7,35 \times 10^{22}$ kg или $1/81 M_{\oplus}$
Средња густина	3,3 kg/m ³
Гравитационо убрзање на површини	1,62 m/sec ⁻²
Нагиб екватора према еклиптици	1°32'
Сидерички месец (једнак периоду ротације)	29 ^d ,5
Привидна звездана величина	— 12 ^m ,7
Друга космичка брзина	2,4 km/sec

ПРИЛОГ IV

ГЕОГРАФСКЕ КООРДИНАТЕ ВЕЋИХ ГРАДОВА

Место	Надмор- ска ви- сина у m	Географска ширина	Географска дужина
Атина	110	37°58'15,5 N	1h34m52s 00 E
Београд	250	44 48 10, 3 N	1 22 03, 17 E
Берлин	82	52 24 24, 2 N	0 52 25, 49 E
Берн	563	46 57 12, 7 N	0 29 42, 88 E
Беч	240	48 13 55, 3 N	1 05 21, 35 E
Благовешченск	—	50 17 09, 3 N	8 29 45, 30 E
Бон	62	50 43 45, 0 N	0 28 23, 18 E
Бордо	73	44 50 07, 00 N	0 02 06, 60 E
Бостон	31	42 20 58, 00 N	4 44 19, 10 W
Брисел	105	50 47 54, 60 N	0 17 25, 94 E
Буенос Аирес	6	34 37 18, 30 S	3 53 25, 19 W
Будимпешта	474	47 29 58, 50 N	1 15 51, 47 E
Букурешт	85	44 24 34, 20 N	1 44 27, 01 E
Варшава	121	52 13 04, 60 N	1 24 07, 25 E
Вашингтон	86	38 55 17, 20 N	5 08 15, 73 W
Загреб	135	45 48 58, 00 N	1 03 56, 00 E
Истамбул	65	41 00 45, 00 N	1 55 52, 00 E
Јоханесбург	1806	26 10 55, 30 S	1 52 18, 00 E
Квибек	90	46 47 59, 20 N	4 44 52, 71 W
Кијев	184	50 27 10, 00 N	2 02 00, 56 E
Лењинград	75	59 46 15, 50 N	2 01 18, 57 E
Лисабон	95	38 42 30, 50 N	0 36 44, 68 W
Љубљана	293	46 03 09, 00 N	0 58 05, 20 E
Маунт Паломар	1706	33 21 22, 40 N	7 47 27, 36 W
Минхен	529	48 08 45, 50 N	0 46 26, 02 E
Москва	166	55 42 00, 30 N	2 30 10, 69 E
Нови Сад	85	45 15 28, 00 N	1 19 22, 00 E
Њујорк	25	40 48 34, 60 N	4 55 50, 00 W
Осло	25	59 54 43, 70 N	0 42 53, 50 E
Париз	67	48 50 11, 20 N	0 09 20, 92 E
Пекинг	—	40 06 20, 25 N	7 45 18, 70 E
Праг	267	50 04 35, 30 N	0 57 34, 89 E
Приштина	—	42 40 18, 63 N	1 24 40, 25 E
Рим	143	41 55 25, 50 N	0 49 48, 54 E
Рио де Жанеиро	33	22 53 42, 20 S	2 52 53, 47 W
Сарајево	537	43 51 36, 25 N	1 13 42, 50 E
Скопље	—	42 00 07, 15 N	1 25 47, 20 E
Сиднеј	44	33 51 41, 10 S	10 04 49, 19 E
Софија	572	42 41 01, 70 N	1 33 23, 30 E
Ташкент	475	41 19 30, 00 N	4 37 10, 49 E
Титоград	62	42 26 07, 15 N	1 17 03, 60 E
Филаделфија	74	39 58 02, 10 N	5 01 06, 88 W
Хамбург	41	53 28 46, 90 N	0 40 57, 74 E
Цирих	469	47 22 37, 60 N	0 34 12, 30 E

ПОДАЦИ О ПЛАНЕТАМА

Знак и име планете	Синодични период у Данима	Трајање ротације	Дањина у астрономским јединицама				Полупречник (екваторски) у km	Маса Земљина маса = 1	Највећа привидна величина	Број са-телита	Густина g/cm ³	II космичка брзина km/s
			од Сунца највећа	од Сунца најмања	од Земље највећа	од Земље најмања						
☿ Меркур	115,88	59·3d	0,467	0,308	1,47	0,55	0,037	—1,2	0	5,4	3,8	
♀ Венера	583,92	243d	0,728	0,718	1,74	0,26	0,826	—4,3	0	5,1	10,2	
♁ Земља	—	23h56m4s,10	1,017	0,983	—	—	1000	—	1	5,5	11,2	
♂ Марс	779,93	24h37m22s,65	1,666	1,381	2,67	0,37	0,108	—2,8	2	3,4	5,0	
♃ Јупитер	398,88	9h 50m	5,455	4,951	6,45	3,95	318,4	—2,6	13	1,3	59,5	
♄ Сатурн	378,09	10h14m	10,071	9,007	11,07	8,00	95,2	0,5	10	0,7	35,5	
♅ Уран	369,66	10h45m	20,096	18,286	21,10	17,29	14,6	5,4	5	1,6	21,2	
♆ Нептун	367,48	15h 40m	30,328	29,813	31,33	28,81	17,3	7,6	2	2,3	23,5	
♇ Плутон	366,74	—	49,263	29,651	50,25	28,65	—	14,2		4,0	—	

ПРИЛОГ VI

Подаци о Сунцу

Средња даљина Земља — Сунце (А.Ј.)	$149,6 \times 10^6$ km
Полупречник	$6,96 \times 10^5$ km или $109 R_{\oplus}$
Запремина	$1,4 \times 10^{18}$ km ³
Средњи угловни пречник (на даљини од 1. А.Ј.)	31'59''
Маса	$1,99 \times 10^{33}$ g = $1,99 \times 10^{30}$ kg
Средња густина	1,4 kg/m ³
Густина у средишту	100 kg/m ³
Гравитацијско убрзање на површини	$2,74 \times 10^2$ m/sec ²
Периферијска брзина на екватору	2 km/sec
Синодички период ротације тачке на екватору	27,3 ^d (13 ^o ,2 за 24 ^h)
Сидерички период ротације тачке на екватору	25,4 ^d (14 ^o ,2 за 24 ^h)
Нагиб екватора према еклиптици	7 ^o 15'
Сунчева константа	$1,99$ cal/cm ² min = 1388 W/m ²
Укупан сјај	$3,9 \times 10^{33}$ erg sec ⁻¹ = $3,9 \times 10^{26}$ W
Ефективна температура фотосфере	5 800 ^o K
Привидна звездана величина (визуално)	-26,8 m
Апсолутна звездана величина	+4m,8
Спектрална класа	G2
Даљина од Галактичког центра	10 000 ps
Брзина обртања око Галактичког центра	220 km/sec
Друга космичка брзина	617,7 km/sec

ПРИЛОГ VII

Подаци о најсјајнијим звездама

Име звезде	Ознака	Величина		Ректасцен- зија	Декли- нација	Даљина св. год.	Спек. класа
		прив.	апсол.				
Sirius	α CMaj	-1m.58	+1m.3	6h43m55s	-16°40'36"	8.7	АО
Vega	α Lyra	+0.14	+0.5	18 35 59	+38 45 24	26.9	АО
Capella	α Auri	0.21	-0.5	5 14 37	+45 58 17	45.9	ГО
Arcturus	α Boot	0.24	-0.24	14 14 23	+19 19 39	38.3	КО
Rigel	β Orio	0.34	-5.8	5 13 11	- 8 13 58	543.3	B8
Procyon	α CMin	0.48	+2.8	7 37 50	+ 5 17 53	11.2	F5
Altair	α Aqil	0.89	+2.5	19 49 25	+ 8 47 36	15.7	A5
Betelgeuze	α Orio	(0.92)	-3.9	5 53 39	+ 7 24 11	296.3	МО
Aldebaran	α Taur	1.06	-0.6	4 34 19	+16 27 16	70.9	K5
Polux	β Gemi	1.21	+1.2	7 43 36	+28 05 43	32.0	КО
Spica	α Virg	1.21	-3.6	13 23 43	-11 00 56	296.3	B5
Antares	α Scor	1.23	-1.5	16 27 41	-26 22 16	116.4	МО
Fomalhaut	α PscA	1.29	+1.9	22 56 06	-29 46 16	25.1	A3
Deneb	α Cygn	1.33	-4.2	20 40 47	+45 10 47	407.5	A2
Regulus	α Leon	1.34	-0.6	10 06 53	+12 06 17	79.5	B8

ПРИЛОГ VIII

ХРОНОЛОГИЈА ЗНАЧАЈНИЈИХ ДОГАЂАЈА У АСТРОНОМИЈИ

- Око 3000. г. Први астрономски записи у Египту, Вавилону и Кини.
пре н. е.
- Око 535. г. Јавља се идеја о лоптастом облику Земље; Питагора.
пре н. е.
585. г. (28. маја) Помрачење Сунца у Малој Азији које је предвидео Талес из
пре н. е. Милета.
433. г. пре н.е. Метон установио постојање 19-то годишњег циклуса Месечевих
фаза.
- IV в. пре н. е. Аристотел у делу „О небу“ износи доказе о лоптастом облику
Земље, Месеца и других небеских тела.
301. г. пре н. е. Први пут се помињу Сунчеве пеге у кинеским летописима.
265. г. пре н. е. Идеја о кретању Земље око Сунца, прва одређивања растојања
од Земље до Сунца (1200 Земљиних полупречника) и од Месеца
(Аристарх).
240. г. пре н. е. Одређивање величине Земљине лопте (Ератостен).
- 150—123. г. пре н. е. Откриће прецесије, прве таблице кретања Сунца и Месеца,
звездани каталог са око 850 звезда (Хипарх).
- Око 140. г. нове ере У Птолемејевом „Синтаксису“ (арапски „Алмагест“) дата теорија о епицикличком кретању планета у геоцентричном систему, затим таблице планета и звездани каталог (1025 звезда). Звезде су подељене на шест величина по сјају.
1543. г. „О кружењу небеских тела“ Н. Коперника.
1582. г. Увођење Грегоријанског календара у низу европских земаља.
15. октобра
1609—1610. г. Прва посматрања телескопом. Откриће планина на Месецу, Венериних мена, Јупитерових сателита и да се Млечни Пут састоји од звезда (Галилеј).
1609. г. Кеплер у „Новој астрономији“ дао два закона о кретању планета око Сунца.
1619. г. Трећи Кеплеров закон.
1662. г. Први огледи разлагања Сунчеве светлости помоћу призме (Њутн).
1668. г. Телескоп са сферним огледалом (Њутн).
1671. г. Прво одређивање паралаксе Сунца (9,5'') посматрањем Марса у опозицији (Касини, Рише).
1675. г. Одређивање брзине светлости (О. Ремер).
1687. г. У свом делу „Principia“ Њутн образложио свемирско привлачење.
1705. г. Халеј установио да постоји периодично кретање комета око Сунца.
1718. г. Откриће сопственог кретања звезда (Халеј).

- 1725—1728. г. Откриће аберације светлости (Бредли).
1733. г. Прво научно објашњење протуберанци (Васениус).
1748. г. Откриће нутације (Бредли).
1755. г. Кант дао хипотезу о постанку небеских тела и њихових система од расејане материје.
- 1766—1772. г. Нађено правило о растојању планета од Сунца (Тицијус — Боде).
1781. г. Откривена планета Уран (Хершел).
1783. г. Откривено кретање Сунца у односу на звезде, одређене координате Сунчевог апекса (Хершел).
1796. г. Лапласова хипотеза о постанку планета од ротирајуће гасовите маглине.
1800. г. Откриће инфрацрвеног зрачења Сунца (Хершел).
1801. г. Откривена прва мала планета Церера (Пијаци).
- 1814—1815. г. Фраунхофер описао тамне линије у Сунчевом спектру.
- 1835—1840. г. Прво одређивање паралакса звезда (Струве, Бесел, Хендерсон).
1844. г. Швабе установио периодичност у јављању Сунчевих пега.
1845. г. Откриће спиралне структуре неких маглина (Лорд Рос).
1846. г. Откриће Непутна, по Леверијеовим и Адамсовим прорачунима, на основи Бодеовог правила.
- 1850—1864. г. Почине да се примењује фотографија у астрономији (САД, Енглеска, Русија).
- 1859—1864. г. Откриће спектралне анализе (Бунзен, Кирхоф).
- 1860—1863. г. Почетак спектроскопије звезда (Хегинс); прва класификација спектра звезда (Секи).
- 1862—1904. г. Проучавање физичке природе комета. Класификација кометних „репова“ (Бредихин).
1864. г. Добијен емисиони спектар планетске маглине у сазвежђу Змај, што је доказало гасовиту природу неких маглина. Откриће зелених емисионих линија у спектрима маглина, приписаних непознатом елементу, названом небулијум (Хегинс).
1868. г. Пронађена метода посматрања Сунчевих протуберанци кад нема тоталног помрачења Сунца (Локијер, Жансен).
1868. г. Откриће хелијума на Сунцу (Локијер).
1872. г. Добијена прва фотографија звезданог спектра (Дрепер).
1884. г. Конвенција 26 земаља о зонском времену (конференција у САД).
1887. г. „Канон помрачења“ (Ополцер). Садржи израчунатих 8 000 Сунчевих и 5 200 Месечевих помрачења од 208. г. пре н. е. па до 2163. г. н. е.
- 1888—1891. г. Откривене периодичне осцилације Земљиних полова (Чандлер, Кистнер).
1898. г. Први пут измерена температура звезда (Њиколс).
1901. г. Установљена спектрална класификација звезда на Харвардској опсерваторији (Кенон).
- 1903—1912. г. „Истраживање свемирског простора реактивним уређајима“ (Џиолковски).
- 1905—1913. г. Откриће звезда патуљака и звезда џинова (Херцшпрунг, Расел).
1908. г. Откриће магнетног поља Сунчевих пега (Хејл).
1909. г. Откриће утицаја ротационих компоненти помрачења двојних звезда на криву брзине светлости (Шлезингер).
- 1911—1913. г. Херцшпрунг—Раселов дијаграм „спектар — сјај“.
1912. г. Откриће зависности „период — сјај“ код цефеида (Ливит).
1913. г. Теорија састава атома водоника помоћу које је објашњена појава читавог низа линија у спектрима звезда (Бор).

1914. г. Теорија о пулсирању цефеида (Шепли).
1915. г. Откриће прве звезде — белог патуљка (Адамс).
1916. г. Почетак теоријског испитивања унутрашње грађе звезда (Едингтон).
1918. г. Одређено растојање Сунца од центра Галаксије, које износи 30 000 светлосних година (Шепли).
1919. г. Откриће извора звездане енергије: реакција преласка водоника у хелијум (Перен).
- 1923—1924. г. Утврђена зависност „маса — сјај“ код звезда (Херцшпрунг, Расел, Едингтон).
1924. г. Растављене галаксије на звезде, М31 и М33 (Хабл).
- 1926—1927. г. Проучавање ротације Галаксије (Линдبلاد, Орт).
1929. г. Откриће закона „црвеног помака“ у спектрима галаксија (Хабл).
1930. г. Откриће Плутона (Томбо).
1931. г. Прве фотографије Сунчеве короне у времену изван помрачења (Лио).
1931. г. Откриће космичког радиозрачења на таласној дужини 15 m (Јански).
1937. г. Теорија термонуклеарних реакција у унутрашњости звезда као извор звездане енергије (Бете, Вајтзекер).
- 1937—1940. г. Конструкција првог радио-телескопа и откриће извора космичкога радиозрачења (Рибер).
1942. г. Идентификација многих спектралних линија Сунчеве короне и линија вишеструко јонизованих атома Са, Fe, Ni и неких других елемената (Едлен).
- 1942—1944. г. Независно откриће радиозрачења Сунца на таласној дужини 187 cm (Саутворт, Хеј и Рибер).
1944. г. Откриће звезданих језгара неких спиралних галаксија и утврђивање звездане природе неких елиптичних галаксија.
1944. г. Предвиђена могућност постојања космичког радиозрачења неутралног водоника на таласној дужини 21 cm (Ван де Холст).
1947. г. Откриће интензивних магнетних поља звезда, са променљивим половима (Бибкок).
- 1947—1948. г. Откриће звезданих асоцијација (Амбарцумјан).
1948. г. Запажена поларизација светлости звезда (Хилтнер и Хол, Домбровски).
1949. г. Завршена изградња највећег (5-метарског) телескопа (САД).
1951. г. Откриће теоријски предвиђеног радиозрачења међузвезданог водоника на таласној дужини од 21 cm (Ивен и Парсел).
1955. г. Откривено радиозрачење Јупитера (Бирке и Франклин).
1957. г. (23. окт. и 3. новембра) Лансирање првих вештачких сателита (СССР).
- 1958—1960. г. Откриће радијационих појасева Земље (Ван Ален, Вернов, Чудаков и др.).
1961. г. Прво радиолокационо одређивање удаљености Венере (Енглеска, СССР, САД).
1961. г. (12. април) У васионском броду „Восток I“ Јуриј Гагарин први облетео око Земље.
1963. г. Откриће квазара (Шмит).
1963. г. Запажања првих двају извора рендгенског зрачења Краб-маглине и XР-1 Sco (Фридман и др. Испитивање помоћу ракете).
1964. г. „Маринер IV“ преноси снимке Марсове површине.
1965. г. Помоћу „Зонда-3“ фотографисана „невидљива“ страна Месеца.

1965. г. Помоћу радиолокационог посматрања Меркура добијене нове вредности периода обртања планете $59,3^d \pm 2^d$ (помоћу највећег непокретног радио-телескопа; 305 m у пречнику, Порто-Рико).
1966. Радио-пренос Месечевог пејзажа помоћу „Луна-9“. Остварено меко спуштање.
1966. г. Најснажнији извор рендгентског зрачења идентификован са звездом 13^m — остатком супернове.
1966. г. Откривен десети Сатурнов сателит (Долфус).
1967. г. Откривен први пулсар (Хјуиш, Бел и др.).
1969. г. Искрцавање првих људи на Месец (Армстронг и Олдрин).
(21. јули)
1975. г. (25. окт). Спустила се на Венеру летилица „Венера 10“ и послала прве непосредне снимке Венерине стеновите површине.

ПРИЛОГ IX

Преглед грчке азбуке

Редни број	СЛОВО		Изговор	Редни број	СЛОВО		Изговор
	велико	мало			велико	мало	
1	Α	α	алфа	13	Ν	ν	ни
2	Β	β	бета	14	Ξ	ξ	кси
3	Γ	γ	гама	15	Ο	ο	омикрон
4	Δ	δ	делта	16	Π	π(ῶ)	пи
5	Ε	ε	епсилон	17	Ρ	ρ	ро
6	Ζ	ζ	дзета	18	Σ	σ	сигма
7	Η	η	ета	19	Τ	τ	тау
8	Θ	θ	тхета	20	Υ	υ	ипсилон
9	Ι	ι	јота	21	Φ	φ	фи
10	Κ	κ	капа	22	Χ	χ	хи
11	Λ	λ	ламбда	23	Ψ	ψ	пси
12	Μ	μ	ми	24	Ω	ω	омега

ПРИЛОГ X

Имена и скраћене нове ознаке сазвежђа

Име сазвежђа	Скраће-нице	Хеми-сфера	Име сазвежђа	Скраће-нице	Хеми-сфера	Име сазвежђа	Скраће-нице	Хеми-сфера
Andromeda	Andr	N	Corvus . . .	Corv	S	Ophiuchus	Ophi	SN
Antila . . .	Anti	S	Crater . . .	Crat	S	Orion	Orio	NS
Apus	Apds	S	Crux	Cruc	S	Pavo	Pavo	S
Aquarius .	Aqar	SN	Cygnus . .	Cygn	N	Pegasus . .	Pegs	N
Aquila . . .	Aqil	NS	Delphinus	Dlph	N	Perseus . .	Pers	N
Ara	Arae	S	Dorado . .	Dora	S	Phoenix . .	Phoe	S
Argo	Argo	S	Draco . . .	Drac	N	Pictor	Pict	S
Aries	Arie	N	Equuleus	Equ	N	Pisces	Pisc	NS
Auriga . . .	Auri	N	Eridanus	Erid	SN	Piscis Au- stralis . . .	PscA	S
Bootes . . .	Boot	N	Fornax . .	Forn	S	Puppis	Pupp	S
Caelum . . .	Cael	S	Gemini . .	Gemi	N	Pyxis	Pyxi	S
Camelo- pardalis .	Caml	N	Grus	Grus	S	Reticulum .	Reti	S
Cancer . . .	Canc	N	Hercules	Herc	N	Sagitta	Sgte	N
Canes Ve- natici . .	CVen	N	Horolo- gium . . .	Horo	S	Sagittarius	Sgtr	S
Canis Ma- jor	CMaj	S	Hydra . . .	Hyda	SN	Scorpius . .	Scor	S
Canis Mi- nor	CMin	N	Hydrus . .	Hydi	S	Sculptor . .	Scul	S
Capricor- nus	Capr	S	Indus	Indi	S	Scutum . . .	Scut	S
Carina . . .	Cari	S	Lacerta . .	Lacr	N	Serpens . . .	Serp	SN
Cassiopeia	Cass	N	Leo	Leon	NS	Sextans . . .	Sext	SN
Centaurus	Cent	S	Leo Minor	LMin	N	Taurus	Taur	N
Cepheus . .	Ceph	N	Lepus	Leps	S	Telescopium	Tele	S
Cetus	Ceti	SN	Libra	Libr	S	Triangulum	Tria	N
Chamae- leon	Cham	S	Lupus	Lupi	S	Triangulum Austr.	TrAu	S
Circinus . .	Circ	S	Lynx	Lync	N	Tucana . . .	Tucn	S
Columba . .	Colm	S	Lyra	Lyra	N	Ursa Major	UMaj	N
Coma	Coma	N	Mensa	Mens	S	Ursa Minor	UMin	N
Corona Australis	CorA	S	Microsco- pium	Micr	S	Vela	Velr	S
Corona Bo- realis . .	CorB	N	Monoceros	Mono	SN	Virgo	Virg	SN
			Musca	Musc	S	Volans	Voln	S
			Norma	Norm	S	Vulpecula . .	Vulp	N
			Octans . . .	Octn	S			

АЗБУЧНИ ПРЕГЛЕД ПОЈМОВА И ИМЕНА

А

Аберација светлости 47
Аберацијски угао 48
Азимут 28
Ајнштајн А. 114
Алbedo 89
Алгол 9, 151
Алдебаран 9
Алмукантар 7, 8
Алтаир 9, 179
Алфа Центаури 9
Амбарцумјан Б. А. 156, 182
Андромеда 9, 185
Антарес 149, 179
Апекс Земљиног кретања 146
Апекс кретања Сунчевог система 146
Апогеј Месечеве путање 91
Апогеум 45
Аполо XI—XVII 86
Апсидна линија 44, 46
Аристарх 42, 88, 93, 95
Аристотел 65, 93
Арктур 9, 179
Армалколит 90
Армстронг 90, 107, 182
Астероиди 5, 112, 128
Астреа 113
Астрологија
Астрономија 5, 11, 17, 19
Астрономска јединица 112, 143, 173
Астрономска рефракција 73
Астрономска посматрања 10, 61, 65, 73
Астрономске методе 17
Астрономски годишњак 54, 83
Астрофизика 6
Атмосфера 65, 70, 74, 113
Атмосферска апсорпција 73, 75
Атмосферско расејавање светлости 74
Афел 49

Б

Бетелгез 9, 149, 179
Бесел Ф. В. 142, 181
Бик 9, 24
Близанци 9, 24
Боја звезде 147

Болид 16, 127
Болометри 16
Бредихин, Ф. А. 181
Бредли Ц. 47, 181
Бројачи 16
Бруно, Ђордано 97
Бусола 69, 139

В

Вага 24
Васиона 6, 10, 34
Вебер 144
Вега 179
Велика Кола 8
Велика опозиција
Велики круг 7, 21, 23
Велики Медвед 8, 18, 23, 145
Велики Пас 9
Венера 87, 93, 96, 107, 111, 114, 115, 177, 192
„Венера“ 114, 177, 192
Венерине мене 180
Вертикал 7, 21, 27
Веста 112, 113
Вечерњача 114
Вештачки сателити 5
Визура 6, 10, 17
Висина небеског тела 29
Водолија 24
Волар 9
Воронцов-Вељяминов 147
Време атомско 62
Време грађанско 55, 64
Време ефемеридско
Време западноевропско 56
Време звездано 55
Време зонско 56
Време источноевропско 58
Време месно 55, 64
Време пра̀во 52
Време светско 56
Време средње 52
Време средњеевропско 38
Време указно 58
Временско изједначење 52, 54, 64

Г

Гагарин Ј. 107, 182
Галаксија 5, 155
Галаксије 162
Галаксије елиптичне 162
Галаксије неправилне 163
Галаксије спиралне 162
Галактичка равна 159
Галактичко језгро 159
Галилеј, Галилео 12, 42, 96, 97, 107, 150
Гама-тачка 25, 35, 104
Гема 9
Географска дужина 37, 56, 97
Географска ширина 34, 37, 49, 65
Геоид 39, 67
Геомагнетно поље 69
Геоцентрична даљина 45
Геоцентрични систем света 93
Гироскоп 42, 51
Главни низ звезда 147
Гномон 21, 27, 33, 36, 65, 92
Година календарска 63
Година преступна 63
Година проста 63
Година тропска 46, 53, 61, 62
Годишња доба 50
Горња конјункција 80, 84, 96
Гравитациона константа 67
Гравитациони колапс 167
Грађа васионе 155
Гругр XIII 63

Д

Дан ефемеридски 61
Дан звездани 52
Дан прџви 52
Дан средњи 54
Датумска граница 55, 56, 64
Двојне звезде 194, 149
Двојне еклипсне 151
Двојне оптичке 150
Двојне спектроскопске 151
Двојне физичке 150
Двојка 9, 24
Дејмос 119
Деклинација 14, 30, 31, 32, 33, 37, 91
Деклинацијски круг 21, 32
Денеб 9, 179
Денебола 9
Деферент 93
Директни смер 23, 31, 33
Дифузна материја
Дневни паралел 21, 22
Доња конјункција
Дужина географска 99

Е

Еволуција небеских тела 90
Егзосфера 70, 71
Екваторијал 30

Еклиметар 10, 17
Еклиптика 23, 25, 27, 28, 33, 34, 41, 84, 91
Еклиптички координатни систем 28, 35
Ексцентричност 45, 51
Елементи небеске сфере 6
Елонгација планете, источна 96, 114
Елонгација планете, западна 96, 114
Епицикл 93
Ера олимпијада, 63
Ера хришћанска (наша, нова) 63
Ефемеридска секунда 61

Ж

Жарки појас 50, 51

З

Закон аберације 47
Закон Њутнов 100, 103
Закони Кеплерови 99
Западна тачка хоризонта 21
Звездана астрономија 6
Звездана јата, галактичка 155
Звездана јата 9, 155
Звездана јата, збијена 155
Звездана јата, развејана 155
Звездана карта 32
Звездане асоцијације 156
Звездане атмосфере 168
Звездане брзине 146
Звездане густине 168
Звездане даљине 142
Звездане масе 167
Звездане паралаксе 142
Звездане (привидне) величине 143
Звездане температуре 148, 167
Звездани дан 18, 19, 27, 31, 52, 53, 63
Звездани каталог 143
Звездани системи 5, 69, 157, 162
Звездани сјај 147
Звездани спектри 147
Звездано сопствено кретање 146
Звезде антициркмполарне 18
Звезде бели патуљци 149
Звезде вишеструке 104
Звезде двојне 104, 149
Звезде нове 153
Звезде отички двојне 150
Звезде патуљци 148
Звезде помрачне (еклипсне) двојне 151
Звезде променљиве 151
Звезде спектроскопске двојне 151
Звезде супернове 153
Звезде физички двојне 150
Звезде физички променљиве 151
Звезде џинови 148
Земља 5, 42, 43, 65, 66, 69, 107, 111, 168, 177

Земљина атмосфера 70
Земљина величина 66, 143
Земљина густина 68
Земљина кора 39
Земљина мантија 68
Земљина маса 67, 68
Земљина револуција 45, 95
Земљина ротација 42, 62, 69, 95
Земљина унутрашњост 68
Земљина спљоштеност 67
Земљина старост 68, 175
Земљин апиоид 69
Земљин екватор 34
Земљин елипсоид 66
Земљин облик 45, 67
Земљин сфероид 66
Земљини меридијани 42
Земљини паралели 36
Земљини полови 34, 35, 36
Земљини топлотни појаси 49, 50
Земљини упоредници 36
Земљино језгро 68
Земљино магнетно поље 69, 72
Земљино обртање 18, 23, 42
Зенит 7, 27, 37, 50
Зенитна даљина 36, 73
Зима 49, 50
Зимска група сазвежђа 9
Зимска краткодневица 22, 46, 173
Зимски повратник 23, 26
Зодијак 24
Зодијачка светлост 129
Зорњача 114

И

Извори Сунчеве енергије 136
Изједначење центра 53, 54
Изотропност простора 164
ИКС-зрачење 16
Инструменти 6, 14
Источна тачка хоризонта 21

Ј

Јарац 24
Јасле 9
Јато галаксија 164
Јесен 56
Јесења група сазвежђа 17
Јесења равнодневица 22, 46, 53, 173
Јоносфера 71
Јоносферске буре 140
Јужна тачка хоризонта 21, 36
Јужни Земљин повратник 50
Јужни Земљин пол 36
Јужни небески повратник 22
Јулијанска периода 62
Јуно 112, 113
Јупитер 69, 93, 110, 111, 120, 160, 177
Јупитерова атмосфера 120
Јупитерова црвена пега 119

К

Календар, грегоријански 62, 85, 180
Календар, јулијански 62
Кант И. 168, 181
Кант—Лапласова хипотеза 168
Капела 9
Касиопеја 9
Кастор 9
Кашанин Р. 166
Квадратура 80
Кентаур 142
Кеплер, Јохан 88, 99, 149
Кеплерови закони 99, 109, 142
Кит 9
Килопарсек 143, 163
Клас 9
Клатно Фукоово 51
Колинс 90
Комета Халејева 124
Комете 5, 127
Кометина глава 123
Кометино језгро 123
Кометино распадање 124
Кометин реп 123
Компас 69
Конјункција 80, 84, 96
Константа аберације 48
Коперник, Никола 42, 51, 93, 95, 96, 97, 180
Космичка прашина 5, 157
Космичке брзине 107
Космички зраци 161
Космички летови 161, 75
Координатни систем 28, 31
Космогонија 6
Космологија 6, 165
Кочијаш 9
Краб-маглина 153
Кретање планета, директно 95
Кретање планета, повратно 95
Кретање Сунчевог система 146
Крива сјаја 152
Круг лонгитуде 25
Круг латитуде 25
Кулминација 18, 32

Л

Лабуд 9
Лав 24
Лаплас П. С. 39, 168, 181
Лебедев П. А. 124
Ледени појас 50, 51
Летња група сазвежђа 17
Летња дугодневица 22, 46, 173
Летњи небески повратник 26
Лето 49, 50
Лет у васиону 107
Лилио 63
Лимонит 115
Лира 9
Ловачки Пси 9

Лук, видљиви 34
Лук, невидљиви 34
Луна 182
Луњик III 85
Луњик IV 86

М

Маглина „Коњска Глава“ 159
Маглине, дифузне 159
Маглине планетарне 159
Маглине светле 158
Маглине тамне 159
Магнетне аномалије 69
Магнетне буре 139, 140
Магнетне варијације
Магнетне пулсације 69
Магнетне секуларне варијације 69
Магнетометар 69
Магнетосфера 69, 72
Мала Кола
Мале планете 5, 111
Мали круг 7, 36
Мали Медвед 8, 9
Мали Пас 9
Маринер 114, 182
Маркаб 9
Марс 93, 107, 110, 111, 115, 177
Марсова атмосфера 117, 118
Марсове поларне капе 118
Марсове светле области 117
Марсове тамне области 118
Марсови „канални“ 119
Марсов рељеф 119
Маса 106, 175, 178
Маскони 90
Мегапарсек 143, 163
Међугалактичка материја 164
Међузвездана материја 157
Међузвездана прашина 157
Међузвездани гас 157
Међународна геофизичка година 72
Међупланетски простор 72, 123, 136
Мезосфера 70, 71
Мене, Венерине 97
Мене, Месечеве 79
Меридијан 21, 33, 53, 55, 59, 65
Меридијански круг
Меркур 93, 96, 107, 111, 177
Месец 5, 8, 42, 66, 76, 81, 89, 94
Месец календарски 62
Месец сидерички 62, 90, 117
Месец синодички 62, 78, 85, 90, 91
Месечева атмосфера 88
Месечева даљина 92
Месечева лонгитуда на путањи 78
Месечева мора 86, 90
Месечева помрачења 81, 91
Месечева права величина 80
Месечева револуција 79, 80, 90
Месечева температура 89
Месечеве мене 76, 78, 79, 91

Месечеве планине 88
Месечеве риле 88, 89
Месечеве путање, чворови 78, 79
Месечеви кратери 86, 88
Месечеви светли зраци 89
Месечеви циркови 88
Месечево обртање 80, 90
Месечево право кретање 90
Месечево привидно кретање 81, 90
Месни екваторски систем 28, 30
Меснојато галаксија 5
Метагалаксија 5, 164
Метеори 5, 86, 104, 125
Метеорити 87, 114, 125, 128
Метеорит Баринџер 129
Метеорит Сихоте-Алински 129
Метеорит Тунгуски 128
Метеорски пљусак 125, 127
Метеорски рој 104, 126
Метеорско тело 125
Микрометеорити 129
Мирфак 9
Младина 79
Млад месец 79
Млечни Пут 5, 57, 130, 159
Море Киша 87
Море Облака 87

Н

Нагиб еклиптике 25, 65, 175
Надир 7, 28
Надморска висина 37
Небеска латитуда 35
Небеска лонгитуда 35
Небеска механика 6, 104
Небеска поларна осовина 20
Небеска сфера 10, 17, 18, 21
Небески екватор 21, 22, 23, 25, 31, 33, 35, 36
Небески екваторски систем 28, 30, 31
Небески меридијан 21
Небески полови 20, 21, 41
Небеских тела, постанак 10, 66
Небеских тела, развој 73
Недеља 62
Неједнакост годишњих доба 51
Нови стил 62, 85
Ноћ 46
Нулта нивоска површина 37
Нутација 104, 109
Нептун 104, 111, 119, 177, 181
Нове 153

Њ

Њутн, Исак 12, 39, 42, 43, 51, 103, 105, 107, 109, 180

О

Обданица 18, 22, 35, 46
Објектив 11

Ован 24, 25
 Одређивање брзина небеских тела 109
 Одређивање величина Сунца, Месеца и планета 96
 Одређивање времена 58
 Одређивање даљина Месеца и Сунца 107
 Одређивање маса планета и Сунца 106
 Одређивање температуре небеских тела 15
 Одржавање времена 58, 61
 Океан Бура 87
 Окулар 11
 Олберс 123
 Олдрин 90, 107, 182
 Опозиција 80, 82, 97, 115, 117
 Оптичка решетка 15
 Орао 9
 Оријентација 39
 Орион 9
 Осовина, светска 21

П

Палас 112, 113
 Паралакса, годишња 142
 Паралакса, хоризонтска 142
 Паралакса елипса 48
 Паралактички телескоп 14, 31
 Паралактично кретање 55
 Парсек 143
 Парсон 44
 Пасажни инструмент 59
 Пегаз 9, 36
 Пепељава светлост 80
 Перигеј Месечеве путање 79
 Перигеум 45
 Перихел 49
 Персеј 9
 Пешчане буре 116
 Пешчане буре 116
 Пијаци 181
 Пионир 10, 121
 Планете 8, 84, 111
 Планете Земљиног типа 113
 Планете Јупитеровог типа 120
 Планетоиди 5, 112
 Платонска година 104
 Плејаде 9, 155
 Плима и осека 104, 109
 Плутон 104, 107, 111, 177
 Повећање телескопа 12
 Погсон 144
 Подела астрономије 6
 Подневачка линија 21, 27, 28, 35
 Полара 8
 Поларна даљина 30
 Поларна осовина еклиптике 26
 Поларна светлост 71, 139
 Полови еклиптике 27
 Полови геомагнетски 69
 Полови светски 25
 Положај звезде 142

Полукс 9, 179
 Полходија 39
 Поремећаји 104
 Посматрања 6, 17, 58, 65
 Поставка телескопа 14
 Последња Месечева четврт 80
 Постанак месеца и недеље 62
 Постанак небеских тела 166
 Постанак Сунчевог система 168
 Права аномалија
 Права поноћ 52
 Прави положај 73
 Прави правац 73
 Прави (сунчани) дан 52
 Прави хоризонт 7
 Право кретање планета 95
 Право подне 52
 Практична астрономија 6
 Прва Месечева четврт 80
 Презепе 9
 Преношење времена 58
 Прецесија 25, 104, 109
 Привидна величина 8, 143
 Привидна кретања планета 93
 Привидна Месечева путања 77
 Привидни положај 6, 17
 Привидни правац 7, 73
 Привидни пречник Сунца 23, 45, 173
 Привидно годишње кретање Сунца 21, 23, 45, 93
 Привидно дневно кретање небеске сфере 18, 20, 31, 34, 94
 Привидно дневно кретање Сунца 23
 Принцип акције и реакције 23
 Принцип Доплер-Физоов 48, 150
 Принцип независности дејства силе 103
 Прокион 9, 179
 Пролеће 50
 Пролећна група сазвежђа 17
 Пролећна равнодневица 22, 25, 46, 53, 54, 173
 Променљиве звезде 151
 Променљиве звезде, неправилне 152, 153
 Променљиве звезде, нове 153
 Променљиве звезде, периодичне 152
 Променљиве звезде, супернове 153
 Променљиве звезде, физичке 152
 Променљиве звезде, цефеиде 152
 Пун месец 80

Р

Радијална брзина 15, 145
 Радијант 126
 Радијациони појаси 72
 Радијус-вектор планете 100
 Радио-астрономија 13
 Радио-телескоп 14, 161
 Развој небеских тела 166
 Рак 9, 24
 Расел 147, 181

Регулус 9, 179
Редукција 33
Ректасцензија 31, 32, 33, 58
Ретроградни смер 21, 25, 28, 30
Рефлектор 11, 12
Рефрактор 11, 12
Рибе 9, 24, 36
Ригел 9, 179

С

Савић П. 166
Сазвежђа 8, 17, 27, 143, 186
Сарос 85, 91
Сателити, Јупитерови 97
Сателити, Марсови 119
Сателити, Нептунови 122
Сателити, Сатурнови 121, 182
Сателити, Уранови 122
Сателит, Сиријусов
Сатурн 93, 97, 110, 121, 168, 177
Сатурнови прстени 121
Светлосна година 143
Светска осовина 20, 21
Свођење на екватор 53, 54
Свођење посматрања 33
Северна Круна 9
Северна тачка хоризонта 21, 36
Северни Земљин повратник 50
Северни Земљин пол 49
Северни небески повратник 22
Северни небески пол 22
Северњача 8, 18, 19
Сеизмички таласи 68, 69
Сеизмограф 68
Секстант 39
Секторска брзина планете 100
Силазни чвор Месечеве путање 78
Сирах 9
Сиријус 9, 145, 179
Систем координата, екваторски 30, 31
Систем координата, еклиптички 35
Систем координата, хоризонтски 29
Сјај 147
Скорпија 24
Служба времена 58
Солстициј, зимски 34
Солстициј, летњи 34, 36
Сосиген 62
Спектар, апсорпциони 75
Спектар, линијски 136
Спектар, непрекидни 136
Спектрална анализа 120
Спектрална класификација звезда 147
Спектрограм 15
Спектрограф 15
Спектроскоп 15
Специјални детектори 16
Спика 9, 179
Србија 112
Средња поноћ 54
Средње екваторско сунце 53, 54

Средње еклиптичко сунце 53
Средње подне 54, 55
Средњи (сунчани) дан 78
Стање часовника 59
Стари стил 62
Степенска мерења 67
Стратосфера 70, 71
Стрелац 24
Струве В. 142, 150, 181
Струве О. 142, 150, 181
Сумраци
Сунце 5, 8, 18, 24, 42, 69, 72, 131
Сунчани часовник 52
Сунчева активност 132
Сунчева атмосфера 85
Сунчева величина 132
Сунчева ефемерида 34
Сунчева корона 135
Сунчева маса 107
Сунчева старост 138, 167
Сунчева температура 136
Сунчева унутрашњост 136
Сунчева фотосфера 132
Сунчева хромосфера 85, 134
Сунчев ветар 130
Сунчеве грануле 133
Сунчеве ерупције 138, 141
Сунчеве пеге 137, 138, 181
Сунчеве поре 137
Сунчеве протуберанце 134, 138
Сунчеве факуле 135
Сунчев обртни слој 134
Сунчево обртање (ротација) 138
Сунчево помрачење, делимично 82, 84
91
Сунчево помрачење, потпуно 83, 91,
135
Сунчево помрачење, прстенасто 83, 91
Сунчево радио-зрачење 71, 131
Сунчев систем 5, 111, 122
Сунчев спектар 133, 181
Супернове 153
Сферна астрономија 6, 28
Сферни координатни систем 28, 35

Т

Тачка зимског солстиција 26
Тачка јесење равнодневице 26
Тачка летњег солстиција 26
Тачка пролећне равнодневице 9, 25
Тачке хоризонта 21
Телескоп 8, 10, 11, 12, 86, 145
Теодолит 30
Теорија релативности 114
Теоријска астрономија 6
Терминатор 79, 86
Термоелемент 15
Термонуклеарне реакције 136, 166
Термосфера 71
Титан 90

Тицијус-Бодеево правило 111, 112, 163, 181

Топлотна инерција 89

Треперење звезда 74

Тритон 122

Тропосфера 70, 71

Тропска година 45, 53, 61, 62

У

Угловна мерења 19

Узлазни чвор Месечеве путање 78

Умерени појас 50

Универзални инструмент 10, 30, 33, 36, 37, 59

Уран 111, 119, 177

Уштап 80

Ф

Фехнер 144

Фобос 119

Фосфорус 114

Фотографија 15

Фотоелектрични фотометар 16

Фотомултипликатор 16

Фраунхофер Ј.

Фраунхоферове линије 132, 141

Фузија 166

Фуко 43, 44

Х

Хаблов закон 164, 181

Хајгенс Х. 65

Хелиоцентрични систем света 95, 109, 142

Хемисфера 71

Херкул 9

Херкулово јато 146

Херцшпрунг 147

Херцшпрунг-Раселов дијаграм 147, 181

Хершел В. 12, 150, 181

Хијаде 9

Хипарх 24, 180

Хипотеза, Кантова 168

Хипотеза, Лапласова 168

Хипотезе судара 169

Хипотезе Сунчеве маглине 169

Ход часовников 61

Хомогеност простора 164

Хоризонт 7, 17, 18, 21, 34, 73, 84

Хоризонтска раван 10

Хоризонтски координатни систем 28, 29

Хронограф 39, 61

Хронологија 63, 64, 180

Хронометар 31, 61

Ц

Цезар, Јулије 62

Центрипетално убрзање 101, 102

Церес 112, 113

Цефеиде 152

Циклус Сунчеве активности 136

Циолковски К. 181

Циркумполарна група сазвежђа 8, 17, 23, 34

Црвени помак 164

Ч

Часовна зона 58

Часовна служба 52, 62

Часовни угао 14, 31, 32, 52, 53

Часовник, атомски 31, 61

Часовник, кварцни 31, 60, 61

Часовник, молекулски 61

Часовник с клатном 31, 60, 61, 97

Часовник, сунчани 52, 65

Часовни сигнали 62

Ш

Ширина географска 34, 37, 49, 65

Шмитов телескоп 13

САДРЖАЈ

Глава прва

Општи појмови

	Страна
1.1. Шта изучава астрономија — — — — — — — — — —	5
1.2. Подела астрономије — — — — — — — — — —	6
1.3. Значај астрономије — — — — — — — — — —	6
1.4. Небеска сфера и њени основни елементи — — — — — — — — — —	6
1.5. Основне карактеристике небеских тела и важнијих сазвежђа — — — — — — — — — —	8
1.6. Посматрања на небеској сфери — — — — — — — — — —	10
1.7. Основни астрономски инструменти — — — — — — — — — —	11
Питања, задаци, посматрања — — — — — — — — — —	17

Глава друга

Привидно дневно кретање небеске сфере. Привидно дневно и привидно годишње кретање Сунца

2.1. Привидно дневно кретање (обртање) небеске сфере. Звездани дан — — — — — — — — — —	18
2.2. Елементи небеске сфере изведени из привидног дневног кретања — — — — — — — — — —	20
2.3. Привидно дневно Сунчево кретање у току године — — — — — — — — — —	21
2.4. Привидно годишње Сунчево кретање — — — — — — — — — —	23
2.5. Зодијак — — — — — — — — — — — — — — — —	25
2.6. Елементи небеске сфере изведени из Сунчевог привидног годишњег кретања — — — — — — — — — — — — — — — —	25
Питања, задаци, посматрања — — — — — — — — — — — — — — — —	27

Глава трећа

Одређивање положаја небеског тела и положаја тачке на Земљи

3.1. Координатни системи у астрономији — — — — — — — — — —	28
3.2. Хоризонтски координатни систем — — — — — — — — — —	29
3.3. Месни екваторски координатни систем. Звездано време — — — — — — — — — —	30
3.4. Небески екваторски координатни систем — — — — — — — — — —	31
3.5. Веза између месног и небеског екваторског система — — — — — — — — — —	32
3.6. Одређивање небеских екваторских координата за небеско тело — — — — — — — — — —	32
3.7. Сунчево привидно годишње кретање у небеском екваторском координатном систему — — — — — — — — — — — — — — — —	33
3.8. Привидно дневно кретање небеске сфере посматрано са разних тачака на Земљи — — — — — — — — — — — — — — — —	34
3.9. Еклиптички координатни систем — — — — — — — — — — — — — — — —	35
3.10. Одређивање положаја еклиптике — — — — — — — — — — — — — — — —	36
3.11. Координате тачке на Земљи — — — — — — — — — — — — — — — —	36
3.12. Одређивање географске ширине — — — — — — — — — — — — — — — —	37
3.13. Одређивање географске дужине — — — — — — — — — — — — — — — —	38
3.14. Примена астрономије у геодезији — — — — — — — — — — — — — — — —	39
3.15. Примена астрономије у прекоморској и ваздушној пловидби — — — — — — — — — — — — — — — —	39
Питања, задаци — — — — — — — — — — — — — — — —	41

Глава четврта

Земљина кретања и њихове последице

	Страна
4.1. Земљино дневно обртање (ротација) — — — — — — — — — —	42
4.2. Докази за Земљино дневно обртање — — — — — — — — — —	42
4.3. Земљино годишње обилажење око Сунца (револуција) — — — — — — — — — —	45
Тропска година — — — — — — — — — —	45
4.4. Докази за Земљино годишње обилажење око Сунца — — — — — — — — — —	47
4.5. Последице два основна Земљинска кретања — — — — — — — — — —	49
Питања, задаци, посматрања — — — — — — — — — —	51

Глава пета

Мерење и рачунање времена

5.1. Право, средње и грађанско време. Временско изједначење — — — — —	52
5.2. Месно време. Датумска граница. Зонско и указно време — — — — —	55
5.3. Часовна служба, или примена астрономије на одређивање, одржавање и преношење времена — — — — — — — — — —	58
5.4. Ефемеридско време. Нова дефиниција секунде. Атомско време — — — — —	61
5.5. Веће јединице за време — недеља, месец и година. Календар — — — — —	62
Питања, задаци, посматрања — — — — — — — — — —	64

Глава шеста

Планета Земља

6.1. Земљин облик и величина — — — — — — — — — —	66
6.2. Земљина густина — — — — — — — — — —	67
6.3. Земљина унутрашњост — — — — — — — — — —	68
6.4. Земљино магнетно поље — — — — — — — — — —	69
6.5. Земљина атмосфера — — — — — — — — — —	70
6.6. Радијациони појаси — — — — — — — — — —	72
6.7. Утицај атмосфере на астрономска посматрања — — — — — — — — — —	73
Питања — — — — — — — — — —	75

Глава седма

Месец

7.1. Месечева даљина и права величина — — — — — — — — — —	76
7.2. Привидно Месечно кретање око Земље — — — — — — — — — —	77
7.3. Право Месечно кретање око Земље. Месечева револуција — — — — —	79
7.4. Месечеве мене — — — — — — — — — —	79
7.5. Месечево обртно кретање (ротација) — — — — — — — — — —	80
7.6. Месечева путања у односу на Сунце — — — — — — — — — —	81
7.7. Месечева и Сунчева помрачења — — — — — — — — — —	81
7.8. Карактеристике Месечеве површине — — — — — — — — — —	85
7.9. Месечеве физичке особине — — — — — — — — — —	89
Питања, задаци, посматрања — — — — — — — — — —	90

Глава осма

Привидна и права кретања планета

8.1. Птолемјев геоцентрични систем света — — — — — — — — — —	93
8.2. Коперников хелиоцентрични систем света — — — — — — — — — —	93
8.3. Право кретање планета — — — — — — — — — —	95
8.4. Галилејева открића. Борба цркве против науке — — — — — — — — — —	97
8.5. Кеплерови закони — — — — — — — — — —	99
8.6. Њутнов закон опште гравитације — — — — — — — — — —	101
8.7. Последице закона гравитације — — — — — — — — — —	104
8.8. Уопштење Кеплерових закона. Одређивање маса небеских тела — — — — —	106
8.9. Савлађивање гравитације и човеков лет у васиону — — — — — — — — — —	107
Питања, задаци, посматрања — — — — — — — — — —	109

Глава девета											
Сунчев систем — планета											
											Страна
9.1.	Општи поглед на Сунчев систем	—	—	—	—	—	—	—	—	—	111
9.2.	Физичке особине планета	—	—	—	—	—	—	—	—	—	112
9.2.1.	Планете Земљиног типа	—	—	—	—	—	—	—	—	—	113
9.2.2.	Планете Јупитеровог типа	—	—	—	—	—	—	—	—	—	119
	Питања, задаци	—	—	—	—	—	—	—	—	—	122
Глава десета											
Остали чланови Сунчевог система											
10.1.	Комете	—	—	—	—	—	—	—	—	—	123
10.2.	Метеори и метеорити	—	—	—	—	—	—	—	—	—	125
10.3.	Међупланетска материја	—	—	—	—	—	—	—	—	—	129
	Питања, задатак	—	—	—	—	—	—	—	—	—	130
Глава једанаеста											
Сунце											
11.1.	Опште карактеристике	—	—	—	—	—	—	—	—	—	131
11.2.	Сунчева грађа	—	—	—	—	—	—	—	—	—	132
11.3.	Разни облици циклуса Сунчеве активности и њихов утицај на Земљу	—	—	—	—	—	—	—	—	—	136
11.4.	Проблем Сунце-Земља и практичне примене Сунчеве енергије	—	—	—	—	—	—	—	—	—	140
	Питања	—	—	—	—	—	—	—	—	—	141
Глава дванаеста											
Звезде											
12. 1.	Даљине и паралаксе	—	—	—	—	—	—	—	—	—	142
12.2.	Звездане величине	—	—	—	—	—	—	—	—	—	143
12.3.	Кретање звезда	—	—	—	—	—	—	—	—	—	145
12.4.	Физичке особине звезда	—	—	—	—	—	—	—	—	—	147
12.5.	Херцшпрунг-Раселов дијаграм	—	—	—	—	—	—	—	—	—	147
12.6.	Двојне звезде	—	—	—	—	—	—	—	—	—	149
12.7.	Променљиве звезде	—	—	—	—	—	—	—	—	—	151
	Питања	—	—	—	—	—	—	—	—	—	154
Глава тринаеста											
Звездани системи и грађа Васионе											
13.1.	Звездана јата	—	—	—	—	—	—	—	—	—	155
13.2.	Међузвездана материја	—	—	—	—	—	—	—	—	—	157
13.3.	Млечни Пут	—	—	—	—	—	—	—	—	—	159
13.4.	Други звездани системи	—	—	—	—	—	—	—	—	—	162
	Питања	—	—	—	—	—	—	—	—	—	165
Глава четрнаеста											
Постанак и развој небеских тела											
14.1.	Постанак и еволуција звезда	—	—	—	—	—	—	—	—	—	166
14.2.	Постанак Сунчевог система	—	—	—	—	—	—	—	—	—	168
	Питања	—	—	—	—	—	—	—	—	—	170
Прилози											
I	Важније величине	—	—	—	—	—	—	—	—	—	173
II	Највећи оптички телескоп у свету	—	—	—	—	—	—	—	—	—	174
III	Подаци о Земљи и Месецу	—	—	—	—	—	—	—	—	—	175
IV	Географски координати већих градова	—	—	—	—	—	—	—	—	—	176
V	Подаци о планетама	—	—	—	—	—	—	—	—	—	177
VI	Подаци о Сунцу	—	—	—	—	—	—	—	—	—	178
VII	Подаци о најсјајнијим звездама	—	—	—	—	—	—	—	—	—	179
VIII	Хронологија значајнијих догађаја у астрономији	—	—	—	—	—	—	—	—	—	180
IX	Преглед грчке азбуке	—	—	—	—	—	—	—	—	—	184
X	Имена и скраћене нове ознаке сазвежђа	—	—	—	—	—	—	—	—	—	185
	Азбучни преглед појмова и имена	—	—	—	—	—	—	—	—	—	186
	Звездана карта	—	—	—	—	—	—	—	—	—	186

Др БРАНИСЛАВ М. ШЕВАРЛИЋ, др МИРЈАНА ВУКИЋЕВИЋ-КАРАБИН
мр СОФИЈА Н. САЏАКОВ

АСТРОНОМИЈА
за IV разред гимназије
природно-математичког смера

ИЗДАВАЧ

Завод за уџбенике и наставна средства,
Београд, Обилићев венац 5/1

Главни и одговорни уредник
БЛАЖО М. ПЕРОВИЋ

Уредник
БОРЉЕ ПРОТИЋ

Корице и илустрације израдио
МИЛОШ РИСТИЋ

Лектор
РАДМИЛА МУСИЋ

Технички уредник
СТЕВАН ТАДИРОВИЋ

Коректори

КОСАНКА ДРАКУЛИЋ, МИЛЕНА ЈЕРЕМИЋ, НАДЕЖДА ПЛАНОЈЕВИЋ
ВЕРА ЈАНКОВИЋ, РАДА ТЕРЗИЋ и СОФИЈА БОШКОВИЋ

Рукопис предат у штампу јула 1975. године;
штампање завршено новембра 1975. године.

Обим: 12¹/₄ штампарских табака + 1 прилог
Тираж: 5.000 примерака
Формат: 17 × 24 cm

Штампа Штампарија „Култура“,
Београд, Македонска 4

