



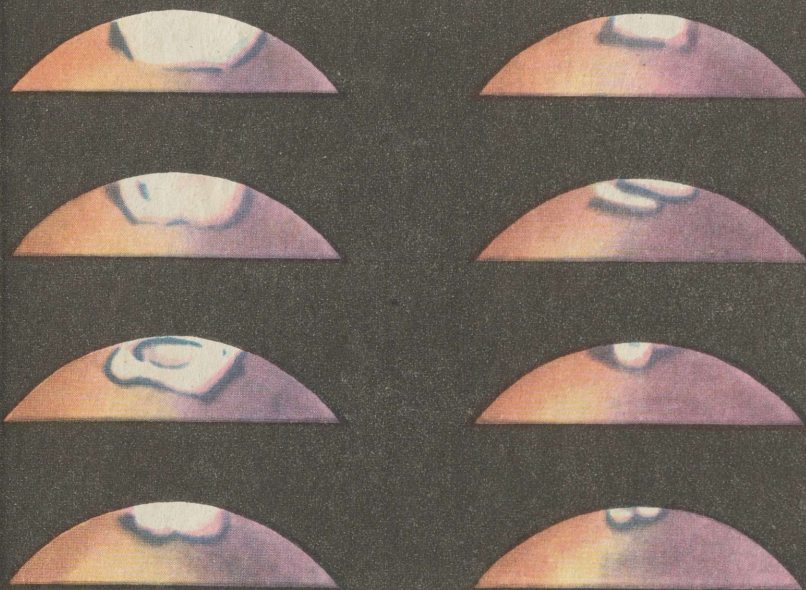
B. VORONTSOV-VELJAMINOV
ASTRONOOMIA

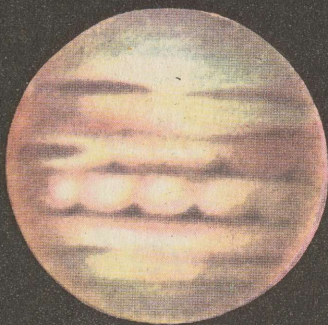
XI KLASSILE



Marsi vaade teleskoobis.

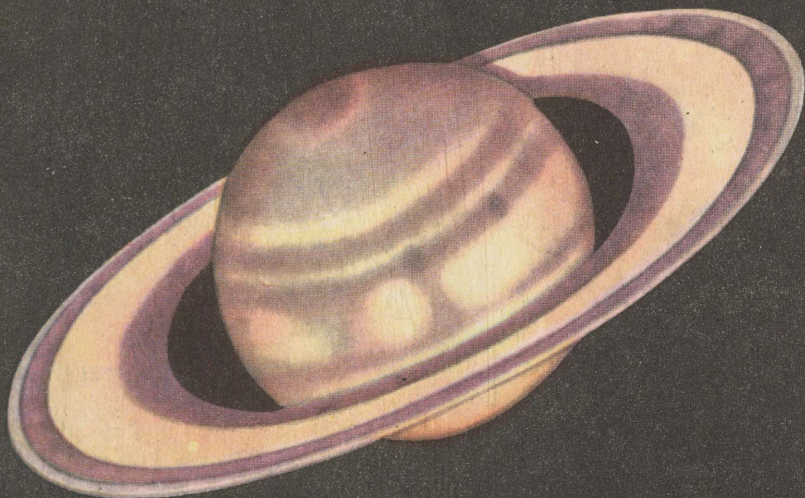
Marsi polaarmütside sulamine.

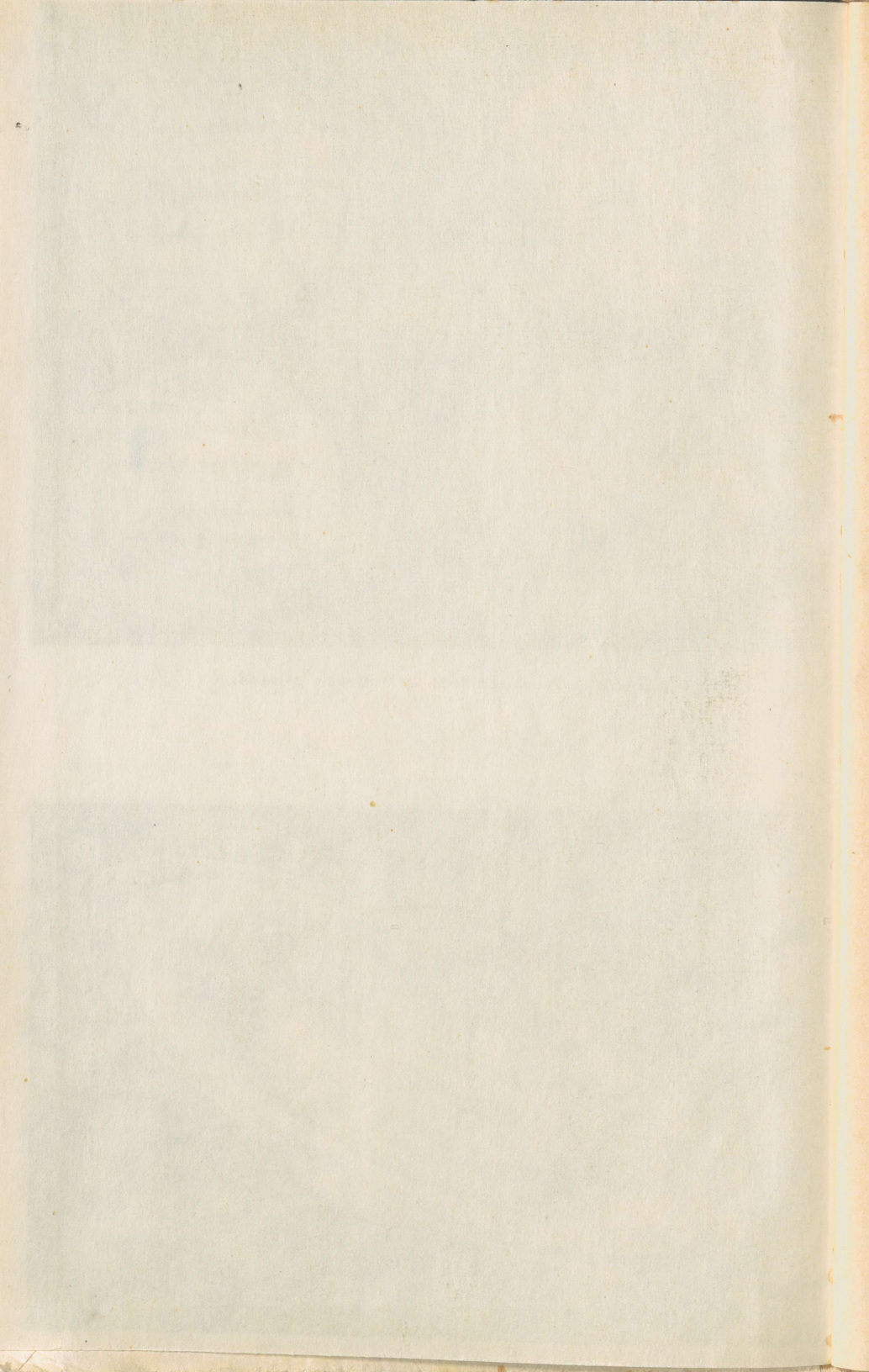




Jupiteri vaade teleskoobis ja muutused teda ümbritsevais pilvedes.

Saturni vaade teleskoobis.





A-31035

B. VORONTSOV-VELJAMINOV

ASTRONOOMIA

ÕPIK XI KLASSILE

3152

KIRJASTUS «VALGUS» • TALLINN 1970

Originaali tiitel:

Б. А. Воронцов-Вельяминов, Астрономия. Учебник для 10 класса. Издание третье. Утвержден Министерством просвещения СССР. Издательство «Просвещение» Москва 1971

Vene keelest tõlkinud *A. Lang* ja *R. Siirak*
Kunstiliselt kujundanud *J. Arrak*

Tõlge kinnitatud Eesti NSV Haridusministeeriumi poolt

I. SISSEJUHATUS.

1. ASTRONOOMIA AINE.

Astronoomia¹ on teadus taevakehade ja nende süsteemide liikumisest, ehitusest ja arenemisest. Astronoomia-alaseid teadmisi kasutatakse inimkonna praktilisteks vajadusteks.

Astronoomia tekkis inimeste praktiliste vajaduste alusel ning arenes koos nendega. Täheteaduse algeid leidis aga juba tuhandeid aastaid tagasi Babüloonias, Egiptuses ja Hiinas ajaarvamisel ja ilmakaarte järgi orienteerumisel. Ka tänapäeval kasutatakse teadmisi astronoomiast laevajuhtimisel, täpse aja määramisel ja teisteks praktilisteks vajadusteks.

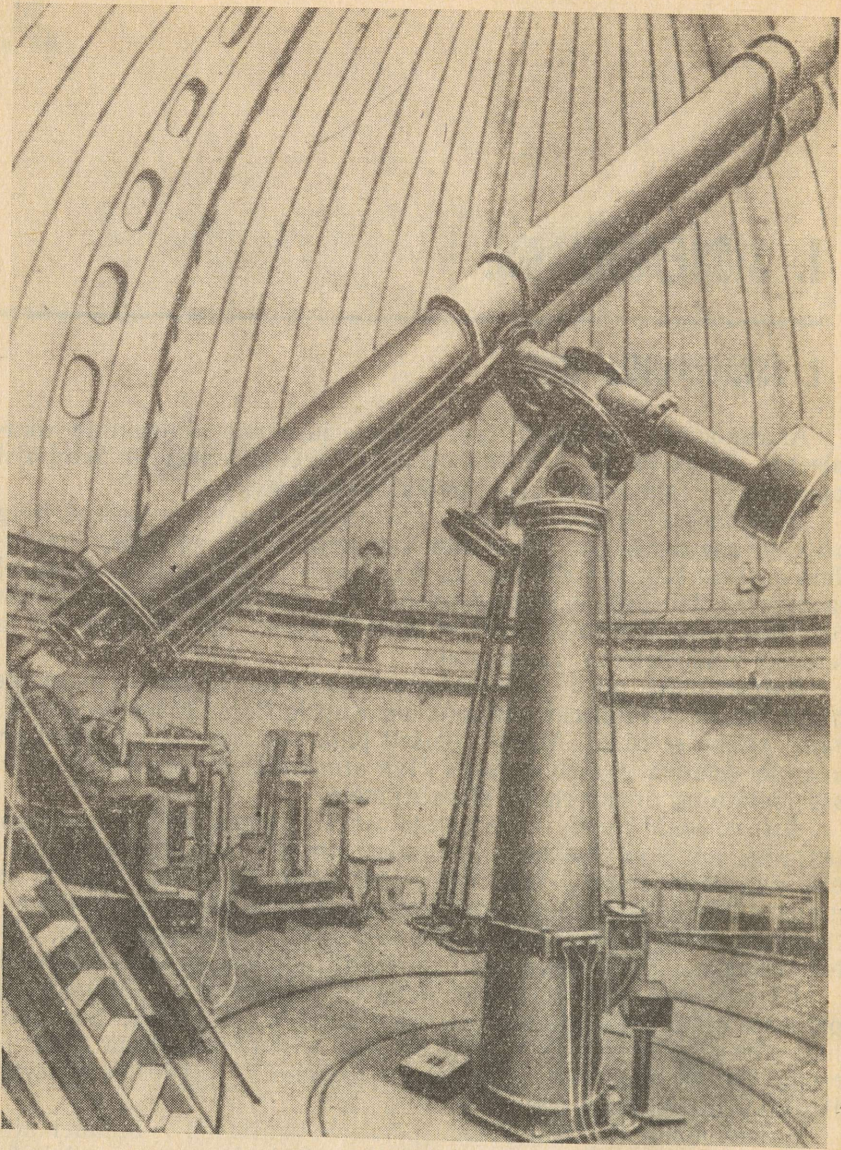
Astronoomia uurib taevakehade füüsikalist loomust ja nende mõju Maale. Nii näiteks põhjustavad Kuu ja Päike tõusude ja mõõnade tekkimist Maal. Mitmesugused päikesekiirgused mõjuvad eri aegadel erineva intensiivsusega Maa atmosfääris toimuvatele protsessidele ning organismide elutalitlusele.

Astronoomia uurib universumis ainet sellistes olekutes ja mas-
taapides, mida ei eksisteeri laboratooriumides. Nii aitab astronoomia avardada ettekujutust maailmast ning arendada füüsikat ja matemaatikat. Astronoomia omakorda kasutab füüsika ja matemaatika meetodeid ja järeldusi. Ta on seotud ka teiste teadustega, näiteks keemiaga ja geoloogiaga. Ka nende sidemed on vastastikused.

Pärast seda, kui õpiti ette arvutama komeetide ilmumist ja päikese- ning kuuvarjutusi, sai astronoomia ebausuvastase võitluse aluseks. Ta annab võimaluse teaduslikult selgitada Maa ja teiste taevakehade tekkimist, aitab arendada dialektilis-materiaalilikku maailmavaadet.

Astronoomia on teadus, mis põhineb vaatlusel. Viimasel ajal aga annavad lennud ümber taevakehade ja laskumised nendele ka eksperimentaalset materjali. Astronoomia uurimisobjektid — taevakehad, mis alles hiljuti olid kättesaamatud, said vahetult uuritavaeks (muidugi ainult kõige lähemad).

¹ Kreekakeelsetest sõnadest *αστρον* (astron) — täht ja *νομος* (nomos) — seadus.



1. Moskva ülikooli kaksikrefraktor-astrograaf taevakehade vaatlemiseks ja fotografeerimiseks. Kaks teleskoopi on paigutatud ühisesse kesta.

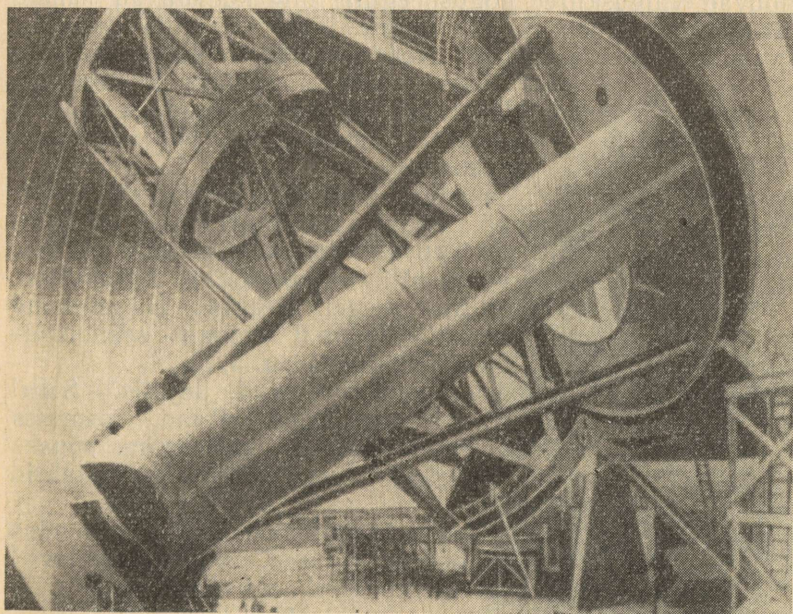
2. ASTRONOOMIA PÕHIMEETODID. TELESKOOBID. OBSERVATOORIUMID.

1. Teleskoobid ja fotograafia. Astronoomi peamine instrument on teleskoop. Läätsobjektiiviga teleskoopi nimetatakse refraktoriks, nõguspeegelobjektiiviga teleskoopi aga reflektoriks (joon. 1 ja 2).

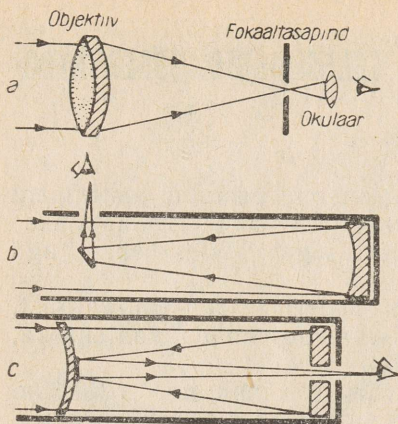
Teleskoobi ülesandeks on esiteks koondada rohkem valgust, et leida nõrku valgusallikaid, ja teiseks suurendada vaatenurka, mille all paistab vaadeldav objekt.

Teleskoobi poolt koondatava valguse hulk on võrdeline objektiivi pindalaga. Mida rohkem valgust teleskoop koondab, seda nõrgemaid tähti saab temaga vaadelda.

Teleskoobi objektiivi suurendus on võrdeline objektiivi fookuskaugusega, s. o. kaugusega valgust koondava objektiivi ja selle punkti vahel, kuhu tekib taevakeha kujutis. Taevakeha kujutist kas fotografeeritakse või vaadeldakse okulaari abil.



2. Mount Palomari observatooriumi reflektor, mille peegli läbimõõt on 5 m. Teleskoobi peapeegel asub seadme alaosas (näidatud noolega).



3. Teleskoopide skeemid (nooded näitavad kiirte käiku). *a* — refraktor; *b* — Newtoni reflektor tasapeegliga; *c* — kooliteleskoop meniski sisepinnal asuva sekundaarpeegliga.

Teleskoobi abil saame suurendatud kujutisi Kuust ja planeetidest. Teleskoop suurendab samuti vaadeldavate tähtede vahelisi kaugusi. Tähed ise on ka väga suurtes teleskoopides nähtavad ainult helendavate punktidena, sest nad asuvad meist tohutult kaugel.

Refraktori objektiivi läbivad valguskiired murduvad ning koonduvad fokaaltasapinnal (joon. 3, *a*). Reflektoris peegelduvad valguskiired nõguspeeglit ning koonduvad samuti fokaaltasapinnal (joon. 3, *b*). Lihtne lääts moonutab kujutist ning muudab selle värviliseks. Nende puuduste kõrvaldamiseks tehakse objektiiv mitmest läätsest, mis on erineva kumerusega ja erisugusest klaasist. Hõbetatud või alumiiniumiga kaetud klaasist nõguspeegel valmistatakse moonutuste vähendamiseks mitte sfääriline, vaid paraboolne.

Nõukogude optik D. Maksutov konstrueeris nn. menisküsteemi, mis ühendab endas refraktori ja reflektori eelised. Sellel süsteemil põhineb ka üks kooliteleskoobi tüüp. Õhuke kumer nõgus lääts — menisk — kõrvaldab moonutused, mida põhjustab suur sfääriline peegel. Peeglit peegeldunud kiired langevad meniski sisemisel pinnal olevale sekundaarpeeglile ning peegelduvad sealt okulaari (joon. 3, *c*).

Teleskoobi abil saadakse ümberpööratud kujutis. Sellel ei ole aga mingit tähtsust, sest väljaspool Maad, kosmoses ei ole ülemist ega alumist poolt. Kujutise pööramine nõuaks täiendavaid läätsi või peegleid, need aga põhjustaksid asjatuid valguse kadusid.

Vaatlusteks kasutatakse harva teleskoope, mille suurendus on üle 500. Põhjuseks on õhuvirvendused, mis moonutavad saadava kujutise. Mida suurem on teleskoobi suurendus, seda märgatavamalt langeb kujutise kvaliteet.

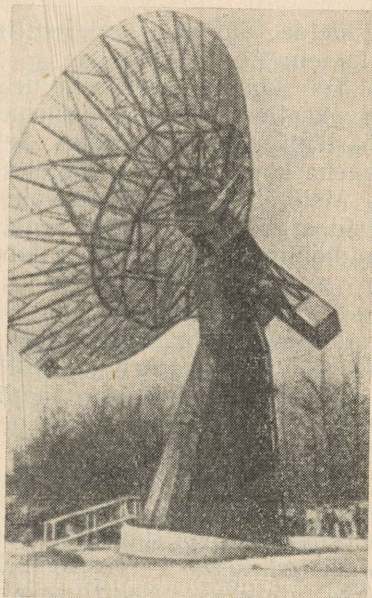
Suurim refraktor (teleskoobi objektiivi diameeter on 1 m) ehitati möödunud sajandi lõpul. Kõige suurema töötava reflektori

peegli diameeter on 5 m. See teleskoop asub Kalifornias. Põhja-Kaukaasias lõpeb seitsmekümnendate! aastatel maailma suurima, 6-meetrise diameetriga peegelteleskoobi monteerimine. Teleskoobi valmistas meie kodumaine tööstus.

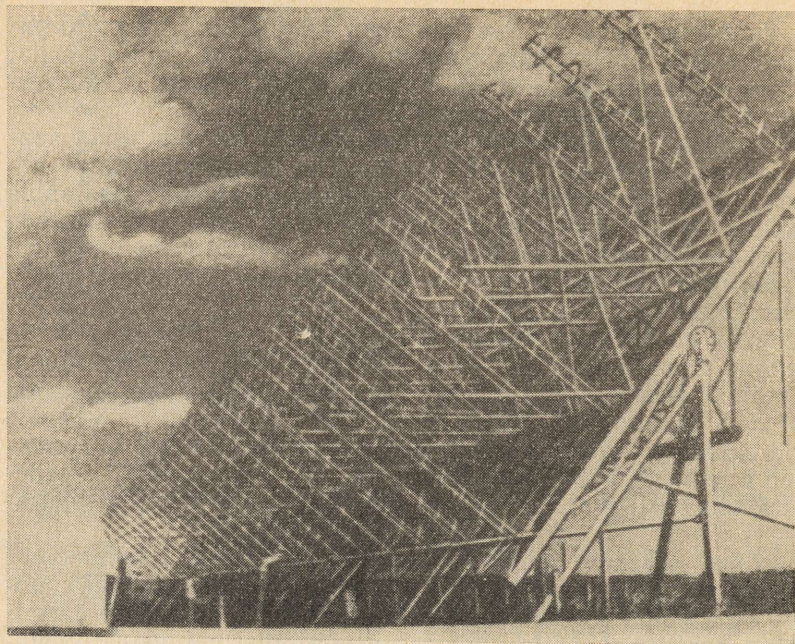
Taevakehade tundmaõppimisel kasutatakse fotosid, mida saadakse astrograafide abil. *Astrografi* on teleskoop, mis on ette nähtud suurte taevapindade pildistamiseks väikeses mastaabis või väikeste taevaosade pildistamiseks suures mastaabis. Tähtede asendeid saadud negatiividel mõõdetakse spetsiaalsete seadmete abil laboratooriumides. Negatiive hoitakse kappides, kus nende read moodustavad klaasist fototeegi.

Kümneid aastaid tagasi tehtud fotodel olevate tähtede asendite võrdlemine asenditega tänapäeva fotodel võimaldab mikroskoobi abil kindlaks teha mõnede tähtede väga väikesed nihkumised, mis võivad olla tuhandikud, harva sajandikud millimeetrid. Kaugele tähtede jaoks aga vastavad need nihkumised liikumistele kiirusega kümned kilomeetrid sekundis. Astrofotode abil võib määrata lähedaste tähtede heledust ja värvust ning ligikaudselt ka temperatuuri.

Muutlike tähtede heledust ja selle muutumist mõõdetakse fotoelektriliste fotomeetritega. Teleskoobi abil koondatav valgus juhitakse siin fotoelemendile. Elemendis tekib äärmiselt nõrk elektrivool, mille tugevus on võrdeline valgustugevusega. Fotomeeter paigutatakse teleskoopi okulaari asemele. Kui



4. Raadioteleskoop-reflektor.



5. Raadioteleskoobi antenn arvukate spiraalidega.

vaadelda tähte läbi valgusfiltri, siis võib selle seadme abil kindlaks teha ka tähe värvuse.

Teleskoop pöörleb kellamehhanismi abil ümber polaartelje, mis on paralleelne Maa pöörlemisteljega. Pöörlemine toimub Maa pöörlemisele vastassuunas. Sellises olukorras jääb vaadeldav taevakeha kogu ettenähtud ajaks teleskoobi vaatevälja.

Meie ettekujutused taevakehadest ja nende süsteemidest rikastusid erakordselt pärast seda, kui sai võimalikuks uurida nende raadiokiirgust. Selleks on loodud mitut tüüpi raadioteleskoobe. Mõnede raadioteleskoopide antennid on sarnased hari-like reflektoritega. Nendes koondatakse raadiolained nõgusa metallpeegli fookusesse (joon. 4). Sellise peegli võib teha hiiglaslike mõõtmetega võrguna, mille diameeter on kümneid meetreid.

Arecibo (Puertoriiko) raadioteleskoobi peegliks on vulkaanilise tekkega orgu monteeritud peen terasvõrk. Peegli läbimõõt on 305 m.

Teised raadioteleskoobid kujutavad endast tohutult suuri liikuvaid raame, mille külge on üksteisega paralleelselt kinnitatud metallvardad või spiraalid (joon. 5). Teleskoobini jõudnud raadiolained tekitavad varrastes elektromagnetilisi võnkumisi, mis juhitakse tundlikesse isekirjutavatesse raadioseadmetesse. On olemas

raadioteleskoobe, mis koosnevad kahest teineteisest küllalt kaugel (mõnikord rohkem kui 1 km) asuvast raamist või peeglist ning mis saadavad vastuvõetud kiirguse ühisesse vastuvõtjasse.

Kõrvuti taevakehade raadiokiirguse uurimisega toimub observatooriumides ka lähedaste taevakehade raadiolokatsioon. Raadiolokaator saadab taevakeha suunas raadiokiirguse impulsse. Need raadiolained peegelduvad taevakehalt Maale tagasi. Peegeldunud raadiosignaali tagasijõudmise aja järgi määratakse taevakeha kaugus.

2. Spektraalanalüüsi kasutamine. Spektraalanalüüs võimaldab saada andmeid tähtede (mõnikord ka planeetide) atmosfääride kvalitatiivse ja kvantitatiivse keemilise koostise, temperatuuri, magnetvälja olemasolu ja selle tugevuse, taevakeha liikumise kiiruse jne. kohta.

Spektraalanalüüs põhineb asjaolul, et liitvalgus üleminekul ühest keskkonnast teise (näiteks õhust klaasi) laguneb komponentideks. Kui valguskiirte kimp lasta kolmetahulise klaasprisma ühele tahule, siis murduvad valge valguse komponendid erinevalt ning annavad ekraanil spektri. Spektris asetsevad kõik värvused alati kindlas järjekorras.

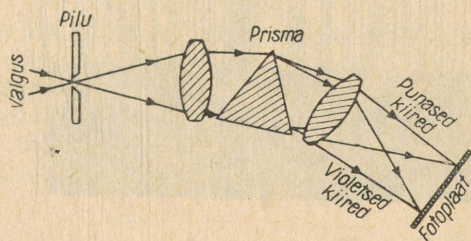
On teada, et valgus levib kui elektromagnetiline lainetus. Igale liitvalgusele vastab elektromagnetilise lainetuse kindel lainepikkus. Lainepikkused spektris vähenevad punasest valgusest (700 nm) violetse (400 nm) poole. Spektri violetse osa taga asub ultravioletne osa, mis ei ole silmaga nähtav, kuid mõjub fotoplaadile.

Veel lühema lainepikkusega on röntgenikiirgus. Taevakehade röntgenikiirgus, mis on suure tähtsusega nende ehituse mõistmisel, ei läbi Maa atmosfääri. Alles hiljaegu sai see kiirgus kättesaadavaks tänu raketidele, mis saadeti kõrgemale atmosfääri põhikihtidest. Röntgenikiirgust mõõdetakse ka automaatseadmetega, mis paigutatakse planeetidevahelistesse kosmoseaparaatidesse.

Spektri punase osa ees asub infrapunaste kiirte osa. Need on nähtamatud, kuid mõjuvad samuti fotoplaadile. Spektraalsed vaatlused hõlmavad spektri selle osa, mis algab ultravioletsete kiirtega ja lõpeb infrapunaste kiirtega.

Spektreid uuritakse spektroskoopide ja spektrograafidega. Spektri fotot nimetatakse spektrogrammiks.

Joonisel 6 on toodud spektrograafi skeem. Valgus langeb läbi kitsa pilu objektiivile, mis suunab valguse paralleelsete kiirte kim-



6. Prismaspektrograafi skeem.

buna kas ühele või mitmele prismale. Valgust läbilaskev pilu on paralleelne prisma murdva servaga. Prisma abil saadud spekter suunatakse fotoplaadile, kus saadakse spektrogramm. Spektroskoobis vaadeldakse spektri kujutist okulaari abil.

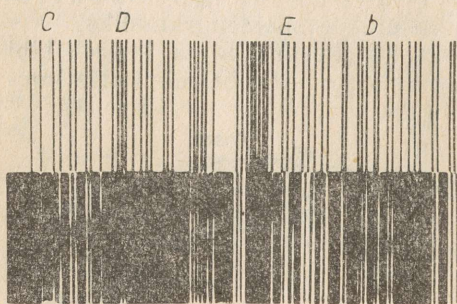
On olemas järgmised spektrite tüübid.

Pideva spektri (vikerkaare) annavad hõõguvad tahked kehad (hõõguv süsi, elektrihõõglambi hõõgniit) ja suure rõhu all olevad hiiglaslikud gaasimassid. Kiirguse joonspektri annavad hõrendatud gaasid ja aurud siis, kui nende temperatuur on kõrge või kui neile mõjub elektrilaeng. Iga gaas annab ainult temale omase, teatud värvustega teravate joonte spektri. Nende värvus vastab kindlatele lainepikkustele. Jooned asuvad spektris alati ühel ja samal kohal. Näiteks naatriumi spektris on eriti heledad kaks kollast joont. Aatomi või molekulide spektrid on seotud nende ehitusega ning peegeldavad nende helendamise protsessis toimuvaid muutusi. Gaasi oleku või helenduse muutumine, näiteks kuumenemine või ioniseerumine, põhjustab alati kindlaks-tehtavaid muutusi antud gaasi spektris.

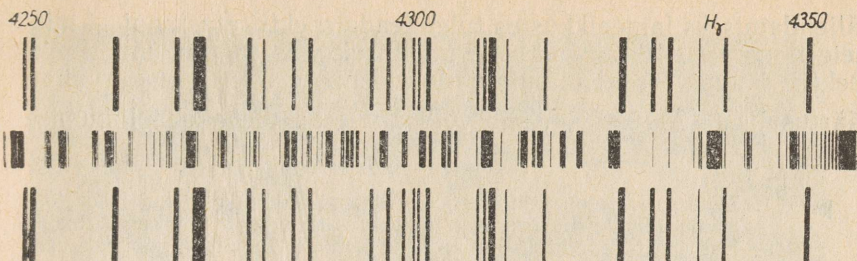
On koostatud tabelid gaaside spektrijoonte ja nende heleduse kohta.

Neeldumisspektri annavad gaasid ja aurud, kui nende taga asub hele ja gaasist või aurust kõrgema temperatuuriga keha, mis annab pideva spektri. Neeldumisspekter on pidev spekter, mis on lõigatud tumedate joontega. Need jooned asuvad samades kohtades, kus asuksid jooned, mida antud gaas ise on võimeline kiirgama. Näiteks naatriumi aurud tekitavad kaks tumedat joont spektri kollase piirkonna kindlaksmääratud kohtades.

Ülaltoodu võimaldab teha valgust kiirgavate või neelavate aurude ja gaaside keemilist analüüsi, vaatamata sellele, kas nad asuvad laboratooriumis või taevakehal (joon. 7). Kiirgavate või neelavate aatomite arv, mis asuvad meie vaatekiirel, määratakse joonte intensiivsuse järgi. Mida rohkem on aatomeid, seda heledam on joon kiirgusspektris ja seda tumedam neeldumisspektris. Päikest ja tähti ümbritseb gaasiline atmosfäär. Nende pidev spekter on läbi lõigatud tumedate neeldumisjoontega. Selle põhjuseks



7. Päikese spektri (ülemine) võrdlus raua laboratoorse spektriga.



8. Joonte nihkumine tähe spektris (keskmine), kui täht liigub vaatekiire sihis. Üleval ja all on vanaadiumi laboratoorsed võrdlusspektrid ja vesiniku joon H_γ . Spektrite kohal on toodud lainepikkused millimikronites.

on valguse läbimineks tähe atmosfäärist. Seepärast on Päikese ja tähtede spektrid neeldumisspektrid.

Vaadeldes spektreid õpiku tagalehel.

Tuleb meeles pidada, et spektraalanalüüsiga saab kindlaks määrata ainult helenduva või valgust neelava gaasi keemilist koostist. Tahke keha või vedeliku puhul pole see võimalik.

Mööda vaatesirget liikuvate taevakehade kiirust (radiaalkiirust) saab määrata spektraalanalüüsi abil Doppleri efekti alusel: kui valgusallikas ja vaatleja lähenevad teineteisele, siis spektraaljoontele vastavad lainepikkused lühenevad, kui aga eemalduvad, siis pikenevad. Eelöeldut väljendab valem

$$\lambda = \lambda_0 \left(1 + \frac{v}{c} \right),$$

kus v on kiirus koos oma märgiga (lähenedes miinus), λ_0 — spektrijoone normaalne lainepikkus liikumatu valgusallika korral, λ — spektrijoone lainepikkus valgusallika liikumisel ja c — valguse kiirus. Teisiti öeldes — tähe ja vaatleja lähenedes spektrijooned nihkuvad violetse osa poole, eemaldumisel aga punase osa poole (joon. 8).

Spektrijoonte nihkumine, mis on tingitud maapealsete kehade liikumisest, on praktiliselt null. Isegi taevakehade liikumine (harilikult kümned ja sajad $\frac{\text{km}}{\text{s}}$) põhjustab niivõrd väikese spektrijoonte nihkumise, et seda võib spektrogrammil märgata ainult mikroskoobi abil.

Pärast taevakeha spektri pildistamist paigutatakse selle kõrvale võrdlemiseks spektrid, mis saadakse maapealsetest kiirgusallikatest, näiteks metallektroodide vahel tekkivast sädemest. Võrdlusspekter on meie suhtes liikumatu ja selle suhtes võib kindlaks teha tähe spektrijoonte nihkumise. See nihkumine on fotol mõõdetav sajandike või kümnendike millimeetritega. Selle nihke

väljendamiseks lainepikkustes tuleb teada spektri mastaapi — mitmele nanomeetrile lainepikkuse muutusele vastab nihkumine piki spektrit 1 mm võrra. Kui paigutada valemisse vahe $\lambda - \lambda_0$ arvuline väärtus ja $c = 300\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$, siis võib arvutada taevakeha liikumise kiiruse v .

- ▶ 1. Tähe spektris on vesiniku joone lainepikkus suurem kui laboratooriumis saadud spektris. Kas täht liigub meie poole või meist eemale? Kas spektrijoonte nihkumine tekib ka siis, kui täht liigub risti vaatekiirega?
- 2. Tähe spektris on joon normaalsest asendist 0,02 mm kõrvale nihkunud. Kui palju on muutunud vastav lainepikkus, kui 1 mm nihkele vastab lainepikkuse muutus 4 nm? Kui kiiresti liigub see täht? Joone normaalne lainepikkus on 500 nm.

Punaselt hõõguv keha annab pideva spektri, milles kõige heledam on punane osa. Keha jätkuval kuumutamisel nihkub spektri heledam osa kollasesse piirkonda, edasi rohelisse jne. Keha kiirgamise teooria, mis on katseliselt kontrollitud, näitab, et heledusa jaotus spektris oleneb kiirgava keha temperatuurist. Teades seda sõltuvust, võib määrata Päikese ja tähtede temperatuuri. Planeetide ja tähtede temperatuuri määratakse ka termoelemendi abil, mis on paigutatud teleskoobi objektiivi fookusesse.

Seega paljud astronoomilised suurused, näiteks tähtede temperatuurid, määratakse meetoditega, mis vastastikku teineteist kontrollivad.

Uurides astronoomiat, tuleb pöörata tähelepanu sellele, et üks osa andmeid on kinnitatud faktidega, teine osa aga kujutab endast teaduslikke oletusi, mis aja jooksul võivad muutuda. Inimtunnetusel piiri ju pole. Üks näide selle kohta.

Vanal ajal otsustas üks filosoof-idealist tõestada, et inimtunnetusel on piir. Ta väitis, et kuigi inimesed mõõtsid kaugused mõnede taevakehadeni, ei suuda nad kunagi kindlaks teha tähtede keemilist koostist. Varsti pärast seda aga võeti kasutusele spektraalanalüüs ning määrati kindlaks tähtede atmosfääri keemiline koostis. Seejärel mõõtsid teadlased tähtede temperatuuri, arvutati teoreetiliselt Kuu temperatuur. Siis mõõdeti Kuu temperatuur Maalt termoelemendi ja raadiomeetri abil. Neid andmeid kinnitati mõõtmistega, mis tehti Kuule saadetud automaatjaamade abil.

3. Observatooriumid. Astronoomiliste vaatluste iseärasused. Astronoomilisi uurimisi tehakse uurimisinstituutides, ülikoolides ja observatooriumides. Pulkovo observatoorium Leningradi lähedal tegutseb alates 1839. aastast ning on kuulus seal koostatud täpsete tähekataloogide poolest (joon. 9). Mõõdunud sajandil nimetati seda observatooriumi maailma astronoomiliseks pealinnaks. Teaduse tormilise arengu käigus ehitati meie maal palju teisi observatooriume. Suurimad neist on Krimmi observatoorium (Simferoopoli lähedal), Bjurakani observatoorium (Jerevani lähedal), Abastumani observatoorium (Boržomi lähedal), Golosse-

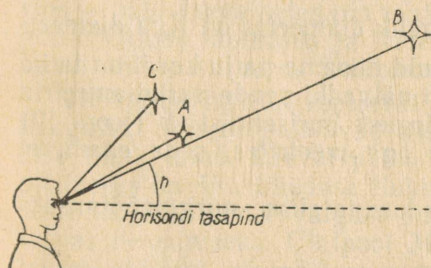


9. Pulkovo observatoorium.

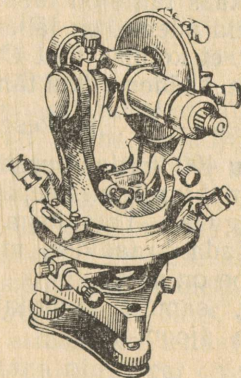
jevo observatoorium (Kiievi lähedal), Semahha observatoorium (Bakuu lähedal). Instituutidest on suurimad Sternbergi-nim. Astronoomiainstituut Moskva Ülikooli juures ja Leningradi Teoreetilise Astronoomia Instituut.

Astronoomiliste vaatluste esimeseks iseärasuseks on vaatluste passiivne iseloom. Mõnikord nõuavad sellised vaatlused väga pikka aega. Meil ei ole võimalik aktiivselt mõjutada taevakeha, sooritada katseid (välja arvatud erandjuhused) nii, nagu seda tehakse füüsikas, bioloogias. Alles kosmonautika andis selleks mõningaid võimalusi.

Mõned nähtused, näiteks Maa telje kalde muutumine tema orbiidi tasapinna suhtes, saavad märgatavateks alles hiiglasuurte ajavahemike möödudes. Seepärast on meile vajalikud vaatlused,



10. Nurkade mõõtmine taevaskeral.



11. Teodoliit — mõõteriist nurkkõrguse ja -kauguse (mööda horisonti) mõõtmiseks.



12. Päikese kõrguse mõõtmine kesk-päeval meresekstandiga.

mida tehti Babülooonias ja Hiinas tuhandeid aastaid tagasi, ehkki tänapäeva seisukohalt olid need väga ebatäpsed.

Astronoomiliste vaatluste teine iseärasus seisneb järgmises. Me vaatleme taevakehade asendeid ja liikumist Maalt, mis ise võtab osa küllalt keerulisest liikumisest. Vaatleja poolt jälgitav taevapilt oleneb ka sellest, millisest kohast Maal ning millal vaatlus tehakse. Kui näiteks meil on talvine päev, siis Lõuna-Ameerikas on suvine öö ja vastupidi.

Astronoomiliste vaatluste kolmas iseärasus seisneb selles, et vaatluste käigus me enamikul juhtudel mõõdame nurki ja alles nendest järeldame võimaluse korral taevakehade mõõtmed ja vastastikused joonkaugused. Kõik taevakehad on meist nii kaugel, et ei silma ega teleskoobiga saa otsustada, milline neist on meile lähemal või kaugemal. Kõik nad paistavad ühtmoodi kaugel. Me räägime, et kaks tähte on taevas teineteisele lähedal, kui suunad, milles me neid näeme, on lähestikku (vt. joon. 10 tähed *A* ja *B*). On võimalik, et kolmas täht *C*, mis on tähest *A* kaugemal, asub ruumis tähele *A* lähemal kui täht *B*. Päikese ja Kuu nurkdiaameetrid on ühesugused — $\frac{1^\circ}{2}$. Päikese tegelik diameeter on Kuu diameetrist ligikaudu 400 korda suurem, kuid niisama palju kordi on ta ka meist kaugemal kui Kuu. Seepärast näivadki nende nurkdiaameetrid meile ühesugused. Taevakeha kõrgust horisondist *h* (joon. 10) võib väljendada kraadides, mitte aga meetrites, seda enam, et horisoni joon on näiv.

Laevadel, samuti lennukitel kasutatakse nurgamõõtmiseks sekstante (joon. 12).

3. TÄHISTAEVAS. TEMA NÄIV PÖÖRLEMINE. TÄHTKUJUD.

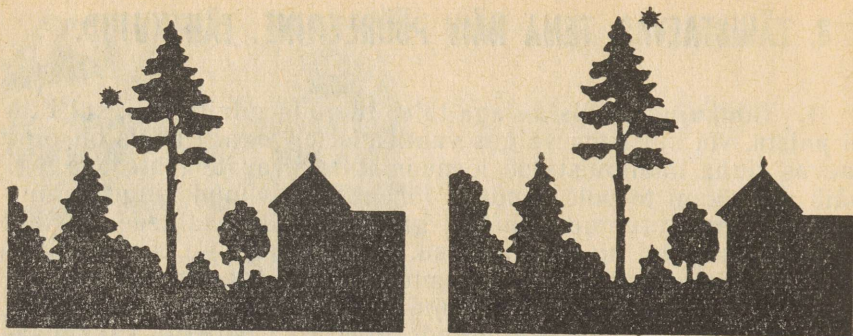
1. **Tähtkujud.** Tähistaevaga tuleb tutvuda pilvitul ööl, kui Kuu ei paista, või kui tema valgus vaatlemist ei sega. Kaunis on öine taevassinna laialipuistatud loendamatu siravate tähtedega. Nii näib seni, kuni te pole nendega lähemalt tutvunud ning õppinud leidma taevassinna tuntud tähtede grupe, milles tähtede vastastikused asukohad on muutumatud. Need grupid — tähtkujud — äratasid inimeste tähelepanu tuhandeid aastaid tagasi. Tänapäeval jaotatakse taevaskera 88 tähtkujuks. Neid võib leida igale tähtkujule iseloomuliku tähtede asendi järgi. Ühe tähtkuju kaks naabertähte võivad ruumis asuda teineteisest ääretult kaugel. Paljudel juhtudel ei tea me tähtedevahelisi tõelisi kaugusi ning räägime seepärast ainult näivatest nurkkaugustest. Paljude tähtkujude nimetused on kandunud kaugest minevikust tänapäeva ning tunduvad astronoomiaga mitte tegelevatele inimestele veidratenä: Neitsi, Veomees, Sõnn jne. Mõned nimetused on seotud kreeka mütoloogiaga, näiteks Andromeeda, Perseus, Peegasus.

Tähtkujusid leitakse taevavõlvil neile iseloomulike kujundite järgi. Viimased saadakse tähtkujude peatähtede omavahelisel mõttelisel ühendamisel sirgjoontega (vt. raamatu lõpus olevat kaarti ja seletust selle juurde).

Kuuvalguseta ööl võib palja silmaga näha taevavõlvil umbes 3000 tähte. Tänapäeval on astronoomid määranud mitme miljoni tähe täpse asendi, hinnanud nende heleduse ning kandnud kõik need andmed spetsiaalsetesse kataloogidesse.

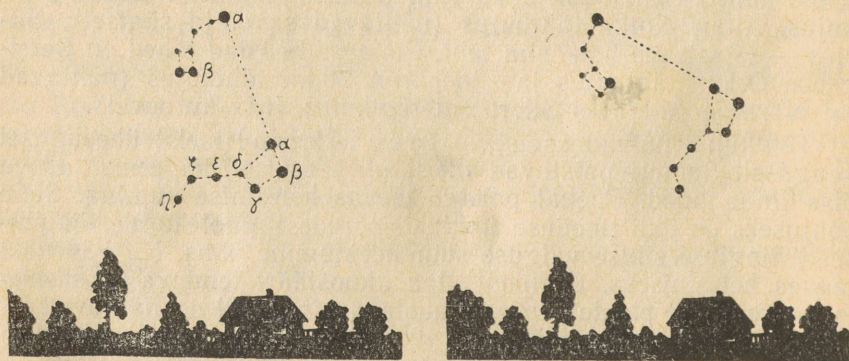
2. **Tähtede ja taeva heledus ning värvus.** Tähed on mitmesuguse heledusega ning erineva värvusega. Palja silmaga on värvuse erinevusi võimalik märgata ainult heledatel tähtedel. Valgest kollaseks ja edasi punaseks muutuv värvus räägib temperatuuri langusest. Meie Päike on kollane täht. Heledatele tähtedele on antud omad nimed. Sellised heledad valged tähed on Veega Lüüra tähtkujus, Altair Kotka tähtkujus (nähtavad suvel ja sügisel), Siirius — tähistaeva heledaim täht. Punased heledad tähed on Betelgeuse Orioni tähtkujus ja Aldebaran Sõnni tähtkujus (nähtavad talvel) ning Antares Skorpioni tähtkujus (nähtav suvel).

Tähtkujud näivad asetsevat taevaskeral meist ühesugusel kaugusel. Samuti paistavad meist ühekaugusel ka eemal asuva öise linna tuled. Päeval paistab taevassinise helesinise kuplina. Selle põhjuseks on õhu tiheduse fluktuatsioonidest (molekulide liikumisest) tingitud sinise valguse suur neeldumine õhus. Nii värvubki taevassiniseks. Ülalpool Maa atmosfääri lendava kosmoselaeva kabiinist paistab taevassinise mustana ning seal on nähtavad ka tähed. Kõige heledamaid tähti võib näha kõrgmägedestki, kus õhk on hõre ning taevassinise paistab tumedam kui mägede jalamil. Päeval võib heledaid tähti näha ka teleskoobi abil.



13. Tähed idataevas liiguvad paremale ja üles.

Kõige heledamaid tähti nimetati juba minevikus esimese suurusjärgu tähtedeks, kõige nõrgemaid palja silmaga nähtavaid tähti aga kuuenda suurusjärgu tähtedeks. See vana terminoloogia on säilinud tänaseni. Tähe tõelise suurusega ei ole terminil «tähesuurus» midagi ühist, ta iseloomustab ainult valgusvoogu, mis jõuab tähelt maapinnale. Esimese suurusjärgu tähed on teise suurusjärgu tähtedest 2,512 korda heledamad. Nende heleduste suhte logaritm on 0,400. Kui I_1 ja I_2 on m_1 ja m_2 suurusjärgu tähtede heledused, siis $I_1 : I_2 = 2,512^{m_2 - m_1}$, ehk $\log(I_1 : I_2) = 0,4(m_2 - m_1)$. Teise suurusjärgu tähed on kolmanda suurusjärgu tähtedest omakorda 2,512 korda heledamad jne. Esimese suurusjärgu tähed on kuuenda suurusjärgu tähtedest 100 korda heledamad. Suurim teleskoop registreerib kuni 23. suurusjärgu tähti. Sellised tähed on peaaegu miljard korda nõrgemad kui kõige heledamad tähed.



14. Suure ja Väikese Vankri tähtkujude erinevad asendid horisondi suhtes.

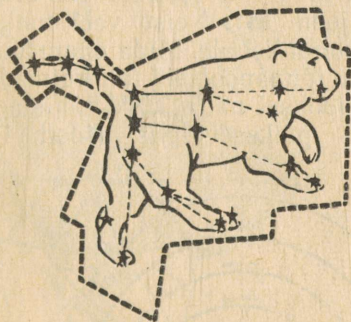
Pärast tähtede heleduse täpseid mõõtmisi tuli kasutusele võtta murdarvulised ja negatiivsed tähesuurused. Aldebaran on 1,06, Veega 0,14, Siirius —1,58 suurusjärgu täht. Päikese heledus sama skaala järgi on — 26,80.

3. Taeva ööpäevane näiv pöörlemine. Märgime mingi tähtkuju täpse asendi horisondi suhtes ning vaatleme siis seda paar-kolm tundi.

Märkame, et idataeva tähtkujud tõusevad kõrgemale ja liiguvad paremale, läänetaevas olevad aga loojuvad (joon. 13). Põhjapoolne osa tähistaevast näib pöörlevat ümber Põhjanaela. Põhjanael on täht α Väikese Vankri tähtkujus (joon. 14). (Igas tähtkujus märgitakse heledaid tähti kreeka tähtedega.)

Joonisel 15 näeme Suure Vankri (Suure Karu) tähtkuju heledamate tähtede asetust ning vanadel tähekaartidel toodud looma kujutist, millest on tulnud tähtkuju nimi. Tähtkuju seitsme heledama tähe paigutus meenutab kastrulit või kopsikut. Lähtedes Väikese Vankri samasugusest kujust, on jooniselt 14 kerge leida Põhjanaela. Põhjanael on kõige heledam ja kõige viimane täht kopsiku varrel, mis kujutab Väikese Vankri tähtkuju. Põhjanael ei muuda praktiliselt oma asendit horisondi suhtes, sest ta asub peaaegu Maa pöörlemistelje sihil. Kõik tähed teevad ööpäevaga ümber Põhjanaela täisringi. Selles võib veenduda järgmise katse abil.

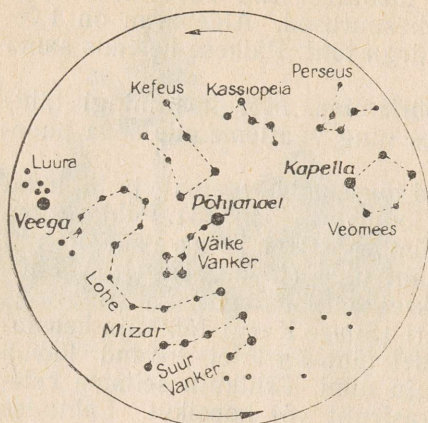
Seame fotoaparaadi kauguse «lõpmatusel», suuname objektiivi Põhjanaelale ning kinnitame aparadi sellesse asendisse. Objektiivi ava seame maksimaalseks ning avame siis objektiivi pooleks kuni terveks tunniks. Pärast seda ilmutame filmi. Negatiivil näeme musti kontsentrilisi kaari — tähtede teede jälgi (joon. 16).



15. Suure Vankri tähtkuju (vanade tähekaartide järgi) ja selle kaasaeagsed piirid (ligikaudselt).



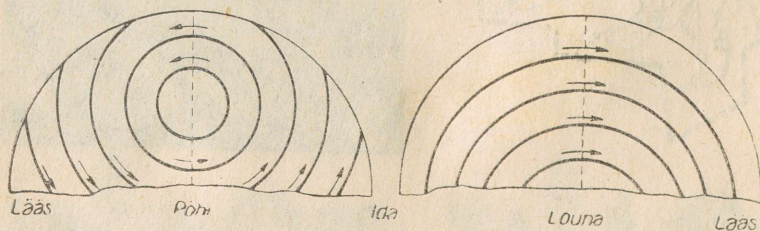
16. Pooluselähdase taevaosa foto, mis on saadud liikumatu fotoaparaadi abil ühe tunni jooksul (positiiv).



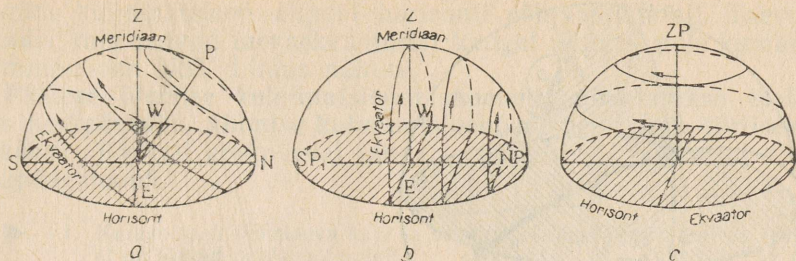
17. Tähtkujud Põhjanaela piirkonnas.

Nende kaarte ühist keskpunkti nimetatakse juba vanast ajast tinglikult maailmapooluseks. Põhjanael asub poolusele väga lähedal. Maa lõunapoolkeral asub teine maailmapoolus. Selle lähedal heledaid tähti ei ole. **Taevaskera näiva pöörlemise telge, mis ühendab mõlemat maailmapoolust ning läbib vaatlaja silma, nimetatakse kokkuleppeliselt maailmateljeks.** Siit järeldub, et maailmatelg (iga vaatlaja jaoks oma) on paralleelne Maa pöörlemisteljega.

Pooluselähedased taevakehad NSV Liidus ei looju kunagi. Mida kaugemal põhjas asub vaatlaja, seda rohkem mitteloovjuvaid tähti ta näeb (joon. 17). Enamik tähtkujusid, kirjeldades erineva raadiusega ringjooni, tõusevad ja loovjuvad. Need tähtkujud, mis asuvad maailma põhjapoolusest kaugel, tõusevad lõunataevas ainult lühikeseks ajaks horisondi kohale (joon. 18). Neist veel rohkem lõunapoolsed ei tõuse aga üldse horisondi kohale. Mida enam lõuna poole aga vaatlaja läheb, seda rohkem lõunapoolseid tähtkujusid ta näeb. Maa ekvaatoril võiks ööpäeva jooksul näha kõiki tähistaeva tähtkujusid, kui päeval ei segaks päikesevalgus (joon. 19).



18. Taevakehade nähtavad ööpäevased teed horisondi suhtes lõuna- ja põhjataevas.

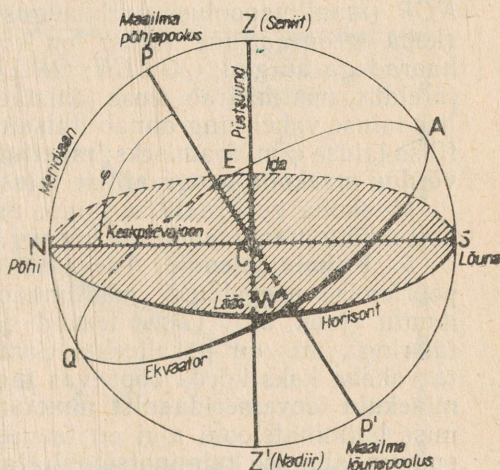
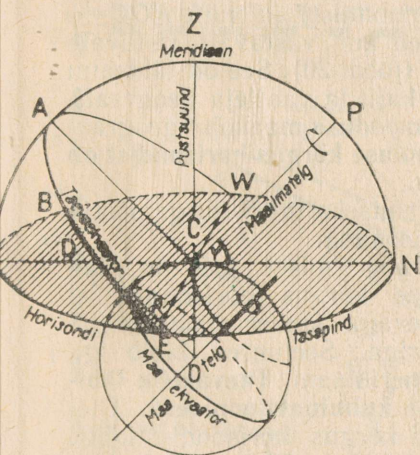


19. Taevakehade ööpäevased teed horisondi suhtes vaatleja jaoks, kes asub: a — keskmistel laiuistel; b — ekvaatoril; c — poolusel.

Horisondil maailma põhjapooluse all asub põhjapunkt. Ekvaatoril asuva vaatleja jaoks maailma põhjapoolus ja horisondi põhjapunkt ühtivad. Sama kehtib ka lõunapooluse ja lõunapunkti kohta.

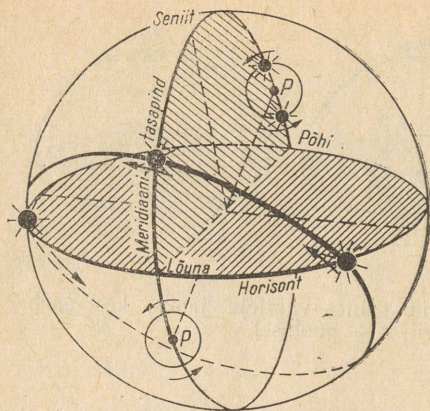
Lihtsa konstruktsiooni ja arutluse teel on kerge veenduda, et nii peabki olema (joon. 20). Punktis C oleva vaatleja horisondi tasapind on maakera puutujatasapinnaks selles punktis, maailmatelg on aga paralleelne Maa teljega. Jooniselt on näha, et vaatleja ümberasetumisel punktist C Maa ekvaatorile asetub maailmatelg selle vaatleja jaoks horisondi tasapinnale SWNE.

Joont NS nimetatakse keskpäevajooneks (joon. 21). Mööda seda joont langevad keskpäeval vertikaalsete esemete varjud. Ida- ja läänepunktid E ja W asuvad horisondijoonel ning



20. Taevaskera ja maakera pindade ning joonte vastastikused asendid.

21. Taevaskera põhipunktid ja -jooned.



22. Taevakehade ülemine ja alumine kulminatsioon.

nende kaugused põhja- ja lõunapunktist on 90° . Vaatleja silma läbiv püstjoon lõikab taevaskera lagipunktis, mida nimetatakse seniidiks (Z). Läbi punkti N , maailmapooluse P , seniidi Z ja punkti S läheb taevameridiaani tasapind, mis ühtib vaatleja geograafilise meridiaani tasapinnaga. Ning lõpuks — tasapind, mis läheb läbi vaatleja silma (punkt C) ning on risti maailmateljega, moodustab taevaekvaatori tasapinna. See tasapind on paralleelne Maa ekvaatori tasapinnaga. Loetletud punktide, joonte ja tasapindade paremaks ettekujutamiseks on joonistel 19—22 ja 24—27 toodud ka kujutletav taevaskera.

4. Geograafilise laiuse määramine. Kerge on näha, et nurk NCP (maailmapooluse nurkkaugus horisondist) ja nurk $ROC = \varphi$ (koha geograafiline laius) on võrdsed kui vastavalt ristuvate haaradega nurgad: $OC \perp CN$; $OR \perp CP$ (joon. 20). See on tähtsaim järeldus, mis määrab seose tähistaeva kuju ja vaatleja geograafilise laiuse vahel ning annab lihtsaima mooduse maakoha geograafilise laiuse φ määramiseks: **maailmapooluse kõrgus horisondist on võrdne maakoha geograafilise laiusega.**

Maakoha geograafilise laiuse määramiseks tuleb nurgamõõtja abil mõõta maailmapooluse kõrgus horisondist.

5. Kulminatsioonid. Täeva näival pöörlemisel (see on Maa pöörlemise peegeldus) maailmapooluse kõrgus horisondist ei muutu (joon. 22). Tähed teevad ööpäevaga ümber maailmatelje täisringi, mis on paralleelne ekvaatoriga. Seejuures läbib iga taevakeha kaks korda ööpäevas taevameridiaani. **Taevakeha läbiminekuid taevameridiaanist nimetatakse kulminatsioonideks.** Ülemise kulminatsiooni ajal on taevakeha kõrgus horisondist kõige suurem, alumise kulminatsiooni ajal aga kõige väiksem. Kahe kulminatsiooni vahe on pool ööpäeva.

Mittelojuvatel taevakehadel on nähtavad (horisondi kohal) mõlemad kulminatsioonid. Tõusvatel ja lojuvatel tähtedel toimub

alumine kulminatsioon allpool horisonti põhjapunkti all. Taevakehadel, mis asuvad taevaekvaatorist kaugel lõunas, pole kumbki kulminatsioon NSV Liidus nähtav.

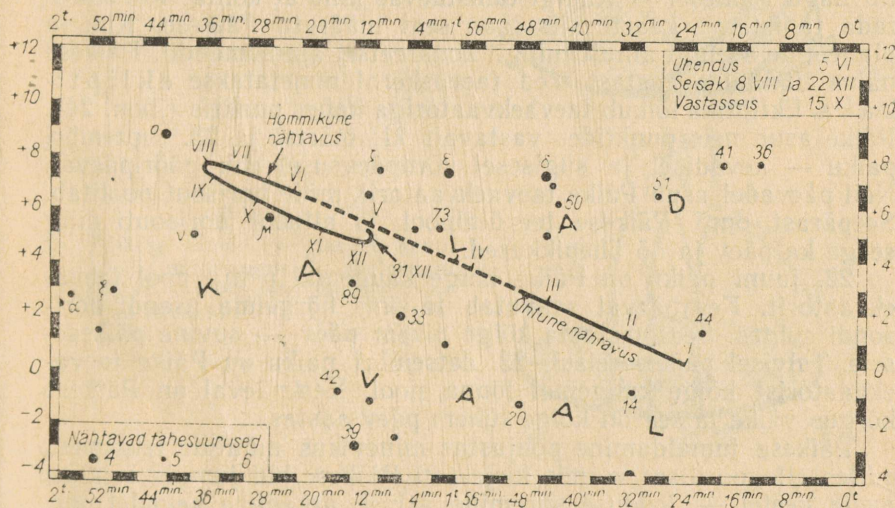
Päikese ülemise kulminatsiooni momenti nimetatakse tõeliseks keskpäevaks, alumise kulminatsiooni momenti aga tõeliseks keskööks. Tõelisel keskpäeval langeb vertikaalse varda vari piki keskpäevajoont.

- 1. Kuidas saab tähistaeva kuju ja selle pöörlemise järgi kindlaks teha, et on jõutud põhjapoolusele?
2. Millisena paistavad tähtede ööpäevase liikumise teed vaatljale ekvaatoril? Mille poolest erinevad need tähtede ööpäevase tee kujust NSV Liidu territooriumil, s. o. keskmistel laiuskraadidel?

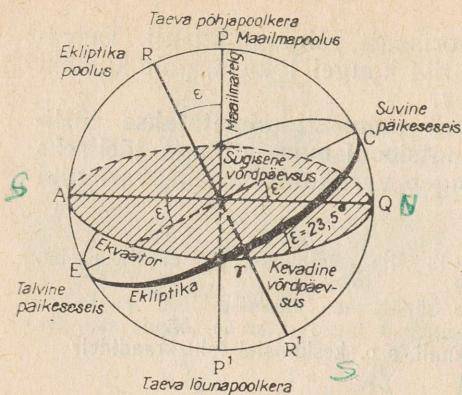
4. EKLIPTIKA JA «RÄNDTÄHED».

Antud maakohas kulmineerib iga täht alati ühel ja samal kõrgusel horisonidist, sest tema nurkkaugus maailmapoolusest ja samuti taevaekvaatorist ei muutu. Päikese kulmineerimiskõrgus aga aasta jooksul muutub. Samuti muutub Kuu kulmineerimiskõrgus, kuid seda ühekuuse tsükliga.

Kui täpse kella abil mõõta tähtede ja Päikese ülemiste kulminatsioonide vahelist aega, siis selgub, et tähtede ülemiste kulminatsioonide vahe on neli minutit lühem kui Päikese ülemiste kulminatsioonide vahe. Tähendab ööpäeva, s. o. taevaskera täis-



23. Saturni näiv tee taevaskeral 1968. a.



24. Ekliptika ja ekvaator.

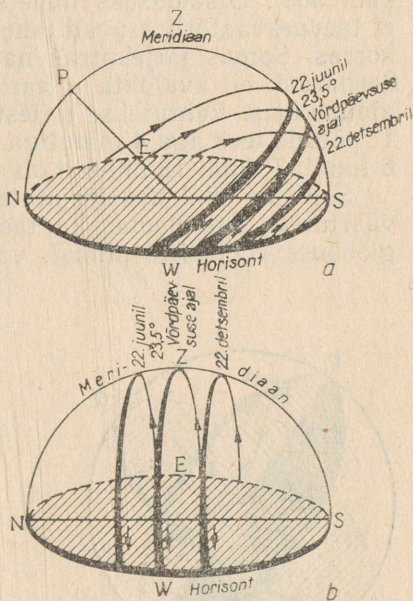
pöörde jooksul, jõuab Päike nihkuda itta — vastupidises suunas taeva ööpäevase pöörlemisega. See nihe on ligikaudu 1° . Nimelt pöörduv taevaskera 24 tunniga 360° (täispööre), 60 minutiga 15° ja 4 minutiga 1° . Aastaga teeb Päike ühe täistiiru tähistaeva foonil. Kuu kulminatsioon ei hiline ööpäevas mitte 4 minutit, vaid 50 minutit. Seepärast teebki Kuu tähistaeva pöörlemisele vastasuunas ühe täisringi ühe kuu jooksul. Planeetid, mis tiirlevad erinevate perioodidega ümber Päikesel, nihkuvad tähistaeva foonil aeglasemalt ja keerukamat teed pidi. Kord liiguvad nad taevas ühes, kord teises suunas, moodustades sõlmi (joon. 23). See on tingitud nende tõelise liikumise ja Maa liikumise liitumisest. Planeetidel (vanakreeka keeles tähendab see rändtähte) ei ole nii nagu Päikesel ja Kuulgi tähistaevas kindlat kohta. Kui koostada tähistaeva kaart, siis saab seal määrata Päikesel, Kuu ja planeetide asendit ainult mingil konkreetsetel ajamomendil. Päikesel näiva liikumise aastast teed taevaskeral nimetatakse ekliptikaks. Ekliptika lõikub taevaekvaatoriga kahes punktis (joon. 24). Päike asub neis punktides vastavalt 21. märtsi ja 23. septembri paiku — kevadisel ja sügisel võrdpäevsusel ehk pööripäeval. Neil päevadel asub Päike taevaekvaatoril, mille horisont poolitab. Seepärast ongi Päikesel tee ülalpool ja allpool horisonti ning seega ka päev ja öö ühepikkused.

22. juuni paiku on Päike kõige kaugemal põhja pool taevaekvaatorit. Keskpäeval saavutab ta oma kõrgeima asendi horisondi suhtes. See on aasta kõige pikem päev — suvine päikeseseis. Talvisel päikeseseisul, 22. detsembri paiku on Päike taevaekvaatorist kõige kaugemal lõuna pool. Keskpäeval on Päikesel kõrgus väike ja see on kõige lühem päev aastas.

Päikesel jumaldamine põhjustas minevikus müütide tekkimist, milles allegoorilises vormis kirjeldati Päikesel kui jumala seiklusi aasta kestel — looduse suremine talvel, ärkamine kevadel jne. Ristiusu lihavõtted, jõulud jt. kannavad endas päikesemütoloogia mõjutusi.

Päikese liikumine mööda ekliptikat on Maa ümber Päikese tiirlemise peegeldus. Ekliptika läbib 12 tähtkuju, mida nimetatakse zodiaagi tähtkujudeks. Kokku moodustavad need tähtkujud zodiaagi vöö. Igas zodiaagi tähtkujus on Päike ligikaudu ühe kuu. Kevadine võrdpäevsuse punkt (ekliptika ja taevaekvaatori ühe kuu. Kevadine võrdpäevsuse punkt (ekliptika ja taevaekvaatori üks lõikepunkt) asub Kalade tähtkujus. Heledatest tähtedest koosnevatest zodiaagi tähtkujudest olgu märgitud Neitsi, Lõvi, Kaksikute, Sõnni, Skorpioni ja Amburi tähtkuju.

Ekliptika tasapind lõikab ekvaatori tasapinda $23^{\circ}27'$ nurga all. Täpselt sama nurga võrra on Päike suvisel päikeseseisu päeval, s. o. 22. juuni paiku taevaekvaatori tasapinnast kõrgemal ning talvisel päikeseseisu päeval (22. detsembri paiku) madalamal. Päikese kõrgust horisondist nendel päevadel arvutatakse valemist $90 - \varphi + 23^{\circ}27'$. φ on siin koha geograafiline laius. Keskööl kulmineerib see zodiaagi tähtkuju, mis on diametraalselt vastupidine tähtkujule, kus sel momendil asub Päike. Nii kulmineerib näiteks märtsis keskööl Neitsi tähtkuju. Joonisel 25 on kujutatud Päikese ööpäevane tee horisondi kohal kevadisel ja sügisel võrdpäevsusel ning suvisel ja talvisel päikeseseisul keskmistel laiuistel (a) ja Maa ekvaatoril (b).



25. Päikese ööpäevane tee horisondi kohal mitmesugustel aastaegadel: a — keskmistel laiuistel; b — Maa ekvaatoril.

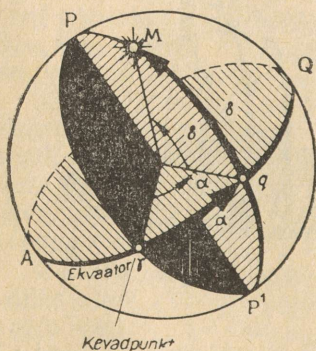
5. TAEVAKOORDINAADID. TAEVAKAARDID JA NENDE KASUTAMINE.

1. Kaardid ja koordinaadid. Selleks et koostada taevakaarti, mis kujutab tähtkujusid tasapinnal, tuleb mõõta tähtede koordinaate. Tähtede koordinaadid horisondi suhtes, näiteks tähe kõrgus, on vaatamata oma näitlikkusele ebapraktilised, sest nad kogu aeg muutuvad. Tuleb kasutada koordinaatide süsteemi, mis pöörleb koos tähistaevaga.

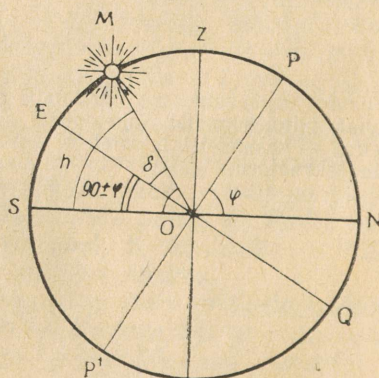
Üheks koordinaadiks sellises, nõndanimetatud ekvatoriaalses koordinaatide süsteemis on taevakeha nurkkaugus taevaequaatorist (joon. 26). Seda nimetatakse käändeks δ . Põhjapoolset käänet loetakse positiivseks, lõunapoolset negatiivseks. Kääne muutub vahemikus $\pm 90^\circ$ ja on analoogiline geograafilise lausega.

Teist koordinaati, mis on analoogiline geograafilise pikkusega, nimetatakse otsetõusuks a . a on nurk maailmapooluseid ja antud punkti läbiva tasapinna ja maailmapooluseid ning kevadpunkti läbiva tasapinna vahel. Nurk a asub vahemikus 0 kuni 360° . Otsetõusuks nimetatakse seda koordinaati seepärast, et taevaequaatoril asuvad tähed tõusevad nende otsetõusude järjekorras. Samas järjekorras nad ka kulmineerivad üksteise järel. Seepärast ei avaldata a harilikult mitte kaarekraadides, vaid ajaühikutes. Lähtutakse sellest, et taevas pöörduv 1 tunniga 15° , 1° pöörde teeb aga 4 minutiga. Seega otsetõus 90° on teisiti öeldes 6 tundi; 7 tundi 18 minutit on aga $109^\circ 30'$.

Sellistes ühikutes kirjutatakse taevakaardi servale otsetõusu väärtused. On olemas ka taevagloobused. Tähed on kujutatud gloobuse sfäärilisel pinnal, vaatleja peab aga kujutlema ennast



26. Ekvaatorilised koordinaadid.



27. Taevakeha kõrgus meridiaanil.

gloobuse keskpunktis asuvana, nii nagu ta kujutab ennast taevaskera keskpunktis olevana tähistaeva vaatlemisel.

Ühel kaardil võib kujutada ainult osa tähistaevast, näiteks veidi rohkem kui ühe poolkera tähistaeva. Algajatel on sellist kaarti raske kasutada, kuna nad ei tea, millised tähtkujud on parajasti nähtavad ning millises asendis on need horisondi suhtes. Selline kaart asendatakse seepärast «pööratava taevakaardiga». Taevakaardile paigutatakse ring väljalõikega, mis kujutab vaatepiiri. Horisondi väljalõige on ekstsentriline. Ringi pööramisel on väljalõikes nähtavad erineval ajal horisondi kohal olevad tähtkujud. Et eespool kirjeldatud ringi õigesti (vastavalt ajale) kaardile paigutada, seatakse sellel olevad kellaajad ja tähtede otsetõusud kaardil selliselt, et kevadpunkti (Kalade tähtkujus) ülemine kulminatsioon oleks 23. septembri keskööl. Sel ajal on Neitsi tähtkujus olev Päike alumises kulminatsioonis (horisondi väljalõike all). Vaatlusaja muutumisel 1 tunni võrra tuleb pöörata ringi kellaosuti liikumisele vastassuunas 15° .

Astronoomilistes kalendrites² tuuakse andmed planeetide asukohast taevas ning andmed mitmesuguste teiste astronoomiliste nähtuste kohta.

- ▶ 1. Õpiku lisas IV toodud heledate tähtede koordinaatide abil leidke tähekaardilt mõned nendest tähtedest.
- 2. Määrake kaardil mingi heleda tähe koordinaadid ning kontrollige nende õigsust lisas oleva koordinaatide tabeli abil.
- 3. Määrake Tartu Tähetorni kalendri järgi mingi planeedi koordinaadid antud ajal ning tehke kaardi abil kindlaks tähtkuju, kus see planeet sel ajal asub.

2. Taevakeha kulmineerimiskõrgus. Lihtne valem seob omavahel taevakeha kulmineerimiskõrgust h käändega δ ja maakoha geograafilise laiusena φ . Joonisel 27 on toodud vaatepiir NS , seniiti läbiv vertikaaljoon OZ , maailmatelg OP ja ekvaatori projektsioon EOQ meridiaanitasapinnale. Keskpäevajoone NS ja maailmatelje vaheline nurk on teatavasti võrdne maakoha geograafilise laiusena φ . Järelikult taevaekvaatori kalle horisondi suhtes, mida väljendab nurk EOS , on $90^\circ - \varphi$. Tähe M kääne on δ . Ilmselt

$$h = 90^\circ - \varphi + \delta.$$

Kui täht asub ekvaatorist lõunas, siis on kääne δ negatiivne. Valemist selgub, et geograafilist lajust võib määrata ka tähe järgi, mis kulmineerib seniidist lõunas. Kui on teada tähe kääne δ , siis tuleb selleks määrata h ülemise kulminatsiooni momendil.

Koha geograafilise laius määramiseks maailmapooluse kõrguse kaudu mõõdetakse praktiliselt Põhjvanaela või mõne teise tähe kõrgus kulminatsioonimomendil ning lisatakse tulemusele

² Näiteks Tartu Tähetorni kalendris. — *Tõlk.*

parandusena valitud tähe ja maailmapooluse vaheline kaugus. Täevakehade kulminatsioonimomendi kõrguse määramist kasutasid tüürimehed vanasti geograafilise laiuse kindlakstegemiseks. Ülesannete jaoks võib asulate geograafilisi koordinaate lugeda geograafilistelt kaartidelt.

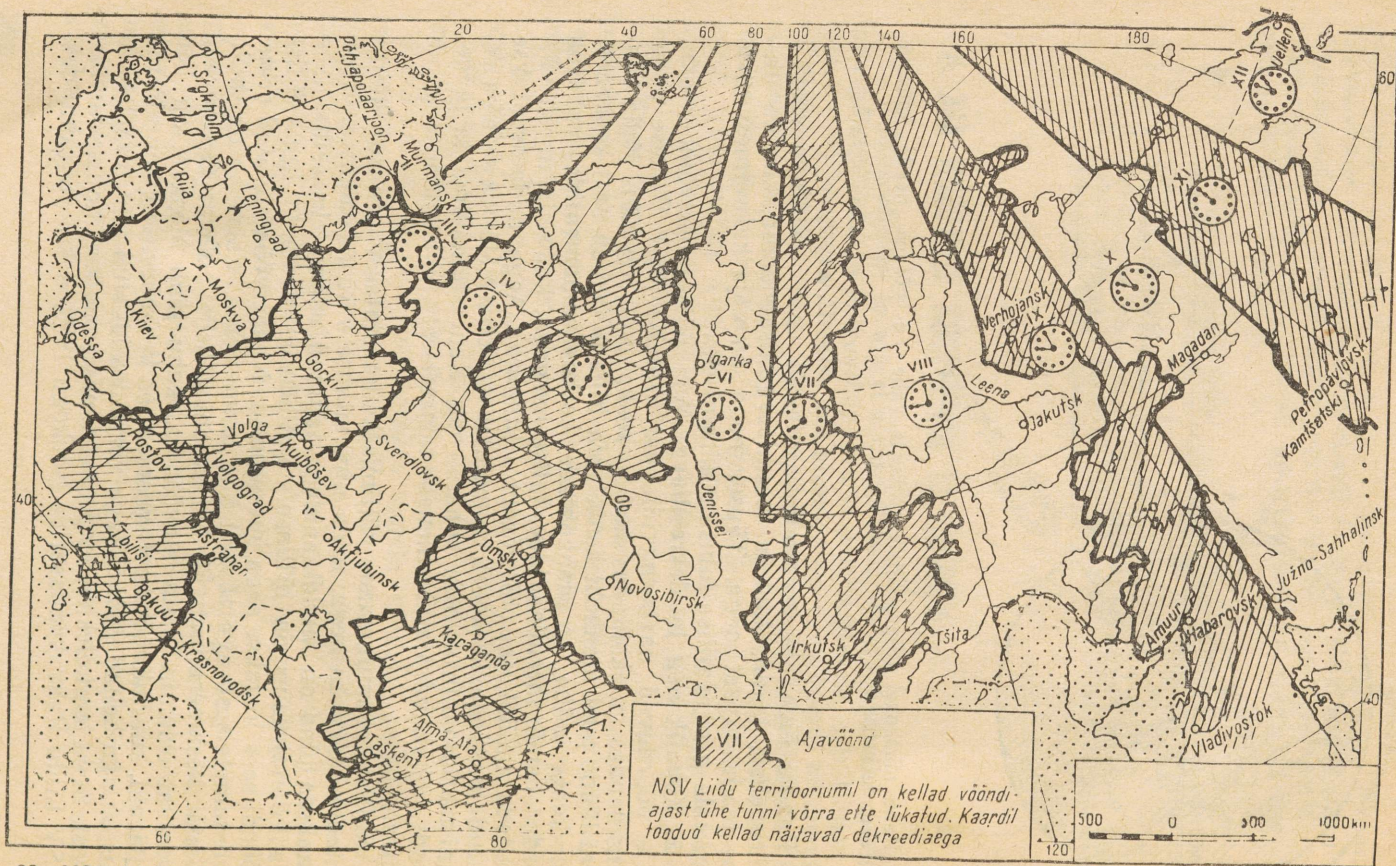
1. Siiriuse (α Suures Penis, vt. lisas tabelit IV) kõrgus ülemise kulminatsiooni momendil oli 10° . Kui suur on vaatluskoha geograafiline laius?
2. Kui suur on Antaarese kulmineerimiskõrgus Leningradis?
3. Kui suur on teie laiuskraadil seniidis kulmineerivate tähtede kääne?
4. Leidke Päikese keskpäevane kõrgus suvisel ja talvisel päikeseseisul Arhangelskis ja Ašhabadis.

6. AJA MÕOTMISE SÜSTEEMID JA ÜHIKUD.

1. Päikeseööpäev ja ajateenistus. Lühikeste ajavahemike mõotmise põhiühikuks on päikeseööpäeva keskmine pikkus, s. o. Päikese teineteisele järgneva ülemise või alumise kulminatsiooni momendi vaheline keskmine aeg. Aasta jooksul nende kulminatsioonimomentide vaheliste aegade pikkused veidi kõiguvad. Selle põhjuseks on asjaolu, et Maa liigub ümber Päikese mitte mööda ringjoont, vaid mööda ellipsit ning Maa kiirus ei ole kogu orbiidi ulatuses ühtlane. See põhjustab ebaühtlust ka Päikese aastases näivas liikumises mööda ekliptikat.

Päikese ülemise kulminatsiooni momenti nimetame me tõeliseks keskpäevaks. Kellade kontrollimiseks, täpse aja kindlakstegemiseks ei ole aga tarvis fikseerida Päikese kulminatsioonimomenti. Palju mugavam ja täpsem on märkida tähtede kulminatsioonimomente. Mistahes tähe ja Päikese kulminatsioonimomentide vahet teatakse täpselt iga aja kohta. On ju Maa liikumine ning järelikult ka Päikese nähtava asendi muutumine tähtede suhtes täpselt teada. Seepärast kontrollitaksegi observatooriumides peakelli (s. o. määratakse nende näitude parandused) just tähtede vaatlemise järgi. *Kella parandus on suurus (positiivne või negatiivne), mis tuleb õige aja saamiseks kella näidule liita.* Kellade paranduste määramiste vaheajal hoiaavad täpset aega kvarts- või mõned teised kellad, milles väga täpselt säilitatakse mingi võnkeprotsessi sagedust.

Täpse aja kindlaksmääramine, selle hoidmine ning edasiandmine elanikkonnale raadio kaudu on nn. ajateenistuse ülesanne. On olemas rahvusvaheline ajateenistuse kontroll mitmesuguste observatooriumide ja maade vahel. Selliste täpsete mõotmist tulemusena avastati hiljaaegu väga väikesed kõikumised Maa ümber telje pöörlemise kiiruses. Varem loeti seda kiirust rangelt ühtlaseks.



29. NSV Liidu ajavööndite kaart.

reediga. Sellist aega nimetatakse dekreediajaks. NSV Liidu territooriumil asuvad ajavööndid on kujutatud joonisel 29. Ajavööndite piirid peaksid kulgema piki meridiaane. Praktiliselt ei ole see aga otstarbekas. Seepärast kulgevad vööndite piirid administratiivseid piire arvestades.

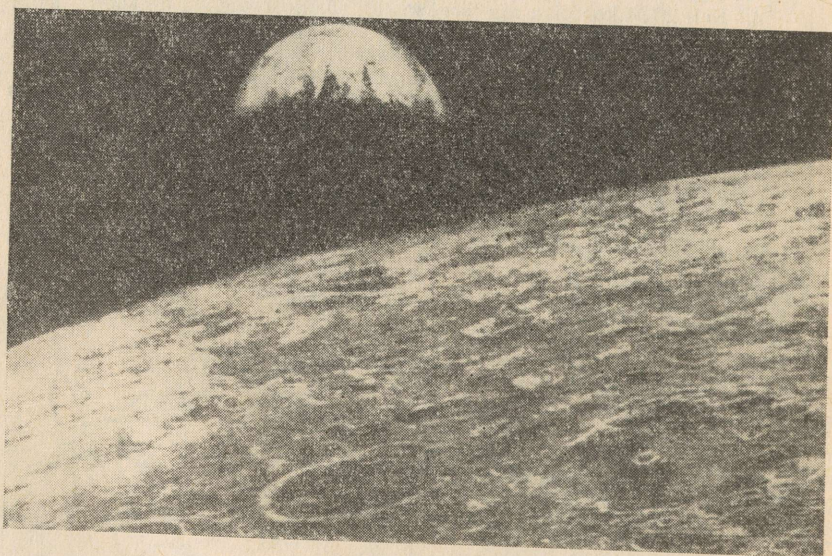
3. Geograafilise pikkuse määramine. Antud maakoha, lennuki või laeva geograafilise pikkuse λ määramiseks tuleb teada, kui palju lääne või ida poole jääb selle koha meridiaan maakohast, mille geograafiline pikkus λ_0 on teada. Ehk mis on sama — tuleb teada, kui palju erineb kohalik aeg T teadaoleva pikkusega λ_0 maakoha ajast T_0 (joon. 28). Järelikult $\lambda = \lambda_0 + (T - T_0)$. Taevakehade vaatlemise abil määratakse kindlaks kohalik aeg, seatakse selle järele kell, siis aga tehakse sama kella järgi kindlaks aeg, millal kuulatakse teadaoleva geograafilise pikkusega maakoha õige aja signaali. Näidaku kohaliku täpse aja järgi seatud kell kolmanda ajavööndi keskpäevasignaali (12.00) ajal 15.18. Teatavasti on selle vööndi aeg Greenwichi ajast 3 tundi ees. Järelikult on maakoha geograafiline pikkus $\lambda = 3 \text{ t. } 00 \text{ min.} + (15 \text{ t. } 18 \text{ min.} - 12 \text{ t. } 00 \text{ min.}) = 6 \text{ t. } 18 \text{ min.}$ ehk $93^{\circ}30'$ idapikkust.

-
1. Kui palju on Sverdlovski vööndiaeg ees Krimmi vööndiajast ja kui palju taga Vladivostoki vööndiajast?
 2. Kuidas erinevad üksteisest Sverdlovski, Simferopoli ja Vladivostoki kohalikud ajad?
 3. Kuidas erinevad eelmise ülesande linnades praktiliselt kasutatavad ajad nende geograafilise pikkuse järgi määratud kohalikest aegadest?
 4. Kell 20.34 kohaliku aja järgi kuuldi raadiost viienda ajavööndi kella 18.00-le vastav õige aja signaal. Kui suur on selle maakoha geograafiline pikkus? Kaugus Moskvast? Missuguse linnaga on tegemist, kui maailmapooluse kaugus seniidist on seal $37^{\circ}57'$?
 5. Keskpäeval on Päikese otsetõus antud maakohas 2 t. 8 min. Mis kell on seal Reeguluse (α Lõvis) ülemine kulminatsioon?

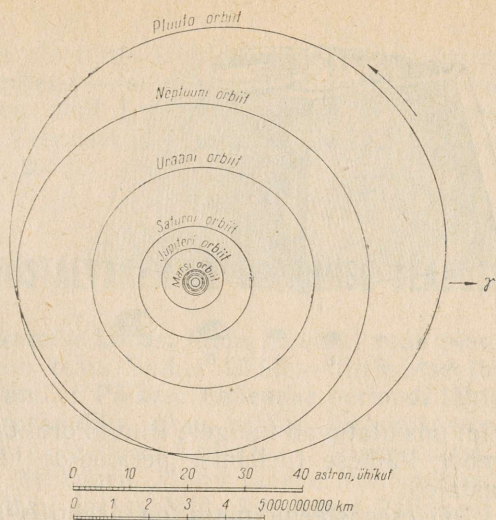
II. PÄIKESESÜSTEEMI EHITUS.

7. PÄIKESESÜSTEEMI EHITUS.

Päikesesüsteemi kuuluvad Päike, tema ümber tiirlevad planeedid koos oma kaaslastega, komeedid ja loendamatu hulk meteore. Peale eespool loetletute tiirlevad Päikesesüsteemis ümber Päikese, Maa ja Kuu mitmesugused kunstlikud taevakehad, mida inimkond on viimastel aastatel loonud. Kunstlikud taevakehad kujutavad endast keerukaid planeetidevahelisi automaatajaamu. Mõned neist on laskunud suurtele taevakehadele nende uurimise eesmärgil ning seal isegi oma asendit muutnud. Nende jaamade abil on saadud fotosid Maast sellisena, nagu ta paistab maailmaruumist. Joonisel 30 on näha Maa Kuu horisondi kohal.



30. Maa Kuu horisondi kohal. Foto on tehtud kosmosest.



31. Päikesesüsteemi skeem
(Päikesele lähedaste planeetide orbiite ei ole näidatud).

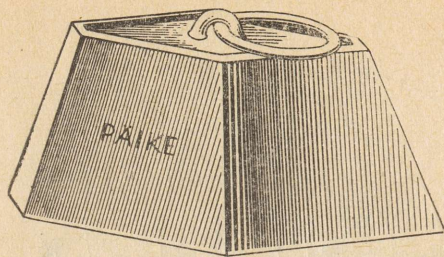
Planeetidevahelises ruumis on palju väikseid kehi, mida nimetatakse *meteoorkedeks*, ja kosmist tolmu. Mõned planeedid on ümbritsetud gaasilise atmosfääriga, mille tihedus planeedi pinnalt kõrgemale kiiresti väheneb. Planeetidevaheline ruum on täidetud äärmiselt hõreda gaasiga. Sellist ruumi läbib mitmesugune elektromagnetiline kiirgus (valgus-, raadiokiirgus jt. kiirgused).

Tuntakse üheksat suurt planeeti. Nad tiirlevad ümber Päikese mööda elliptilisi orbiite, mis vähe erinevad ringjoontest. Planeetide, nende hulgas ka Maa orbiitide tasapinnad asuvad ligikaudu Päikese ekvaatori tasapinnal. Kauguste kasvavas järjekorras paigutuvad planeedid ümber Päikese järgmiselt: Merkuur, Veenus, Maa, Marss, Jupiter, Saturn, Uraan, Neptuun, Pluuto (joon. 31). Võib olla, et on olemas Pluutost veel kaugemal asuvaid planeete, kuid siiani pole neid avastatud.

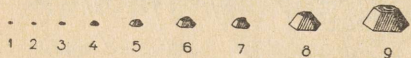
Planeetide ümber Päikese tiirlemise perioodid, nende keskmised kaugused ja teised andmed on toodud õpiku lisas V.

Marsi ja Jupiteri orbiitide vahel asub hulgaliselt väikeplaneete ehk asteroide. Asteroidide orbiitide tasapinnad on samuti lähedased Päikese ekvaatori tasapinnale ja mingile keskmisele orbiidile Marsi ja Jupiteri orbiitide vahel. Ainult üksikute asteroidide orbiidid on väga väljavenitatud ning lõikavad suurte naaberplaneetide orbiite.

Komeedid on suured, kuid väga hõredad kehad, millel on väike tahke tuum. Tuntakse umbes tuhandet heledat komeeti, tegelikult on neid aga sadu kordi rohkem. Mõned komeedid liiguvad mööda orbiite, mis on sarnased planeetide orbiitidega, enamik aga liigub ümber Päikese mööda väga tugevasti väljavenitatud ellip-



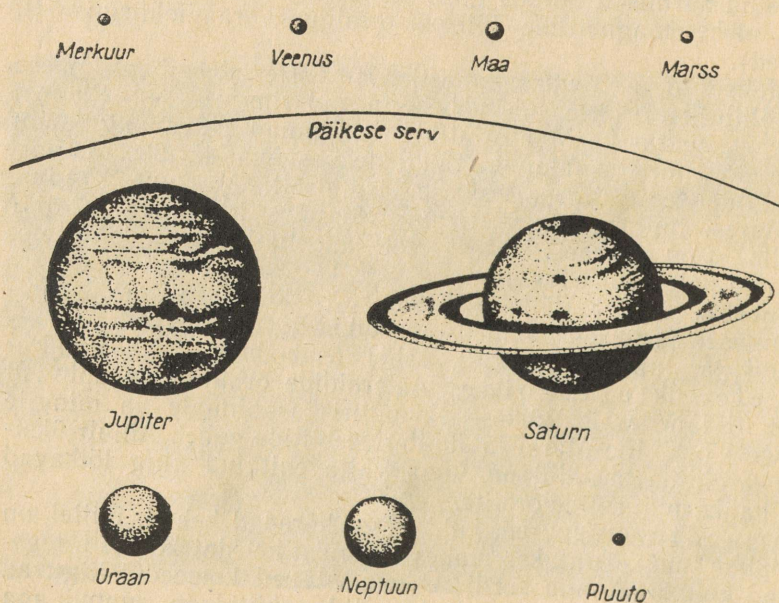
32. Päikese ja planeetide võrdlevad massid: 1 — Merkuur; 2 — Marss; 3 — Pluuto; 4 — Veenus; 5 — Maa; 6 — Uraan; 7 — Neptuun; 8 — Saturn; 9 — Jupiter.



seid, mis ulatuvad kaugele Pluuto orbiidi taha. Seepärast on nende ümber Päikese tiirlemise perioodide pikkus mõnikord tuhandeid aastaid.

Päikesesüsteemi mass on praktiliselt koondunud Päikesesse. Kõikide planeetide mass moodustab veidi rohkem kui 0,1% Päikese massist. Päike on 330 000 korda massiivsem kui Maa, tema külgetõmbejõud on suurim ning seepärast määrab ta kõikide Päikesesüsteemi liikmete liikumise.

Päikese ja planeetide suuruste ja masside võrdlevad andmed on toodud joonistel 32 ja 33.



33. Planeetide ja Päikese võrdlevad mõõtmed.

Kuutaolisi kaaslasi ei ole mitte kõikidel planeetidel. Arvukalt (12) on kaaslasi Jupiteril — suurimal ja kõige massiivsemal planeedil. Veidi vähem on neid Saturnil. Saturn on suuruselt teine planeet. Merkuuril, Veenusel ja Pluutol ei ole kaaslasi avastatud.

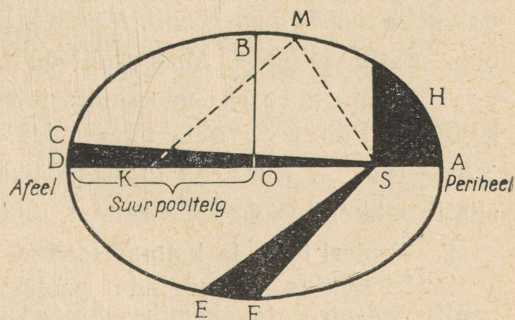
8. PLANEETIDE JA TEHISTAEVAKEHADE LIIKUMISE SEADUSED.

1. Orbiidi kuju ja liikumise kiirus. Mida lähemal asub planeet Päikesele, seda suurem on tema ümber Päikese tiirlemise joonja nurkkiirus. Planeetide ümber Päikese tiirlemise perioodi tähtede suhtes nimetatakse täheperioodiks. Maa sellist tiirlemisperioodi tähtede suhtes nimetatakse täheaastaks. Planeetidest on kõige lühem täheperiood Merkuuril. Marsi täheperioodi pikkus on ligikaudu 2, Jupiteril 12 Maa aastat. Mida kaugemal Päikesest on planeet, seda pikem on tema täheperiood. Pluutol ulatub see 250 Maa aastani.

Planeetide liikumise seaduste avastamise au kuulub väljapaistvale austria teadlasele Keplerile. XVII sajandi algul sõnastas Kepler planeetide liikumise kolm seadust. Neid nimetatakse Kepleri seadusteks.

Esimene seadus. Iga planeet tiirleb ümber Päikese mööda ellipsit, mille ühes fookuses asub Päike.

Ellipsi on selline tasapinnaline kinnine kõver, mille iga punkti kauguste summa kahest punktist, mida nimetatakse ellipsi fookusteks, on ühesugune joone kõikide punktide jaoks. See kauguste summa on võrdne ellipsi suure telje pikkusega (joon. 34). Punkt O on ellipsi keskpunkt, DA — ellipsi suur telg, $OA = a$ — suur pooltelg, K ja S on fookused. Ellipsi kuju iseloomustab tema ekstsentrilisus. Ekstsentrilisus e on võrdne fookuse ja keskpunkti vahelise kauguse ning suure pooltelje pikkuse suhtega ($e = \frac{OS}{OA}$). Fookuste lähenemise piirjuhul (fookused langevad kokku



34. Pindalade seadus (Kepleri teine seadus).

keskpunktiga) $e=0$ ning ellipsist on saanud ringjoon. Suur pooltelg a on planeedi keskmiseks kauguseks Päikesest:

$$OD = \frac{DS+AS}{2},$$

Päikesele kõige lähemat orbiidi punkti nimetatakse periheeliks, kõige kaugemat aga afeeliks. Planeetide orbiidid on ellipsid, mis erinevad vähe ringjoontest. Nende ekstsentrilisused on väikesed. Nii on Maa orbiidi ekstsentrilisus $e=0,017$.

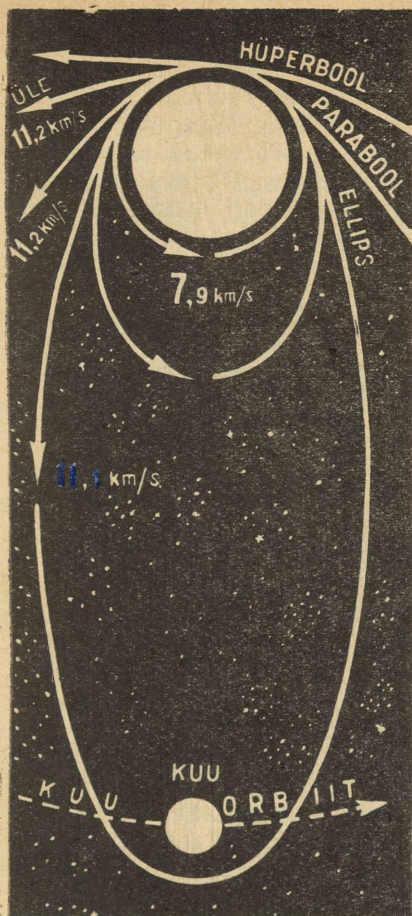
Komeetide orbiitide ekstsentrilisused lähenevad ühele. Kui $e=1$, siis on ellipsi teine fookus eemaldunud lõpmata kaugele ning kinnine kõver muutunud lahtiseks (joon. 35), parabooliks. Parabooli haarad saavad lõpmatuses paralleelseteks. Kui $e>1$, on orbiidiks hüperbool. Mööda parabooli või hüperbooli liikuv keha möödub Päikesest ainult üks kord.

Kepler avastas oma seadused planeetide perioodilise ümber Päikese tiirlemise uurimise alusel. Lähtudes Kepleri seadustest, avastas Newton ülemaailmse gravitatsiooniseaduse. Seejuures tegi Newton kindlaks, et vastastikuse mõju tulemusena võivad kehad teineteise suhtes liikuda mööda ellipsit (erandjuhul mööda ringjoont), parabooli või hüperbooli. Selgus, et mõned ümber Päikese tiirlevad komeedid liiguvad mööda parabooli või hüperbooli. Sellised komeedid ei ole enam selle süsteemi liikmed, küll aga võivad oma liikumisel läbida Päikesesüsteemi piirkonda.

Newton tegi kindlaks, et **keha orbiit on tema liikumise kiirusest**. Teatud kiiruse korral liiguvad kehad ümber kesktõmbesentri ringjoont mööda. Seda kiirust nimetatakse esimeseks kosmiliseks kiiruseks. Niisugune kiirus (horisontaalne) antakse Maa tehiskaaslastele. Esimene kosmiline kiirus on ligikaudu $8\frac{\text{km}}{\text{s}}$. Sellest $\sqrt{2}$ korda suuremat kosmist kiirust nimetatakse teiseks kosmiliseks kiiruseks, mis on ligikaudu $11\frac{\text{km}}{\text{s}}$. Sellise kiirusega keha eemaldub igaveseks Maast ning võib saada Päikese tehiskaaslaseks. Maa suhtes liiguks selline keha mööda parabooli. Maa suhtes veel suuremate kiiruste korral lendab keha mööda hüperbooli. Maa liikumise keskmine kiirus mööda oma orbiiti on $30\frac{\text{km}}{\text{s}}$. Maa orbiit on lähedane ringjoonele, kiirus aga lähedane kiirusele, mis kindlustab ringjoonelise liikumise Maa kaugusel Päikesest. Maa paraboolse liikumise kiirus oleks $\sqrt{2} \times 30\frac{\text{km}}{\text{s}} = 42\frac{\text{km}}{\text{s}}$. Kui keha liiguks Päikese suhtes sellise kiirusega, siis ta lahkuks Päikesesüsteemist, liikudes mööda parabooli.

2. Kepleri teine ja kolmas seadus.

Teine seadus (pindalade seadus). Planeedi raadiusvektori poolt võrdsetes ajavahemikes kaetud pindalad on võrdsed.



35. Orbiitide kujud, mida Maa tehiskaaslased kirjeldavad gravitatsiooni mõjul. Noolte suunas väljasaadetud raketid Maa juurde tagasi ei pöördu, kui nende tee on kas parabool või hüperbool.

Johann Kepler (1571—1630).



Planeedi raadiusvektor on sirglõik, mis ühendab planeeti Päikesega. Planeet liigub oma orbiidil seda kiiremini, mida lähemal ta asub Päikesele. Suurim on planeedi kiirus perihelias. Kepleri teine seadus määrab arvuliselt planeedi kiiruse muutumise liikumisel mööda orbiiti. Joonisel 34 on pindalad *CSD*, *ESF* ja *ASH* võrdsed, kui kaared *CD*, *EF* ja *AH* on planeedi poolt võrdsetes ajavahemikes läbitud teed.

Kolmas seadus. Planeetide tiirlemisperioodide ruudud suhtuvad nagu nende orbiitide suurte pooltelgede kuubid. Kui ühe planeedi orbiidi suur pooltelg märkida a_1 -ga, periood T_1 -ga ja teise planeedi korral vastavalt a_2 ja T_2 -ga, siis saab kolmas seadus järgmise valemi kuju:

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$

Kepleri kolmas seadus seob omavahel planeetide keskmised kaugused Päikesest ja tiirlemisperioodid ning võimaldab kõikide planeetide orbiitide suuri pooltelgi väljendada Maa orbiidi suure poolteljega võrsetes pikkusühikutes. *Maa orbiidi suure pooltelje pikkust nimetatakse astronoomiliseks ühikuks.* Planeetide kaugused Päikesest astronoomilistes ühikutes mõõdeti enne, kui tehti kindlaks astronoomilise ühiku pikkus kilomeetrites.

- ▶ 1. Marss on Maaga võrreldes 1,5 korda Päikesest kaugemal. Kui pikk on Marsi aasta?
- 2. Määrake Maa tehiskaaslase tiirlemisperiood, kui kaaslase orbiidi kaugeim punkt on maapinnast 5000-km, lähim punkt aga 300 km kõrgusel. Maa arvestada kerakujulisena raadiusega 6370 km. Võrrelge selle tehiskaaslase liikumist Kuu tiirlemisega.

9. PLANEETIDE KONFIGURATSIOONID JA SÜNOODILISED TIIRLEMISPERIOODID.

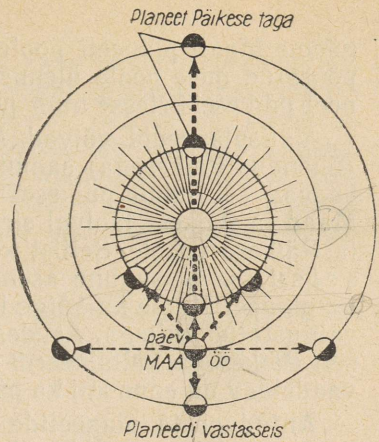
1. Planeetide konfiguratsioonid. Planeedi konfiguratsioonideks nimetatakse planeedi, Maa ja Päikese mõnda iseloomulikku vastastikust asendit.

Kõigepealt märgime, et planeetide nähtavus Maalt on siseplaneetide (nende orbiidid asuvad Maa orbiidi sees) ja välisplaneetide puhul järsult erinev. Siseplaneetid on Veenus ja Merkuur. Kõik ülejäänud on välisplaneetid. Siseplaneetid võivad jääda Maa ja Päikese vahele või siis Päikese taha. Sellistes asendites ei ole siseplaneetid nähtavad, sest ka Päikese ees asuv planeet kaob Päikese kiirtesse. Neid asendeid nimetatakse planeedi ühenduseks Päikesega. Alumises ühenduses on planeet meile (Maale) kõige lähemal, ülemises ühenduses aga kõige kaugemal (joon. 36).

On kerge veenduda, et nurk, mis jääb Maad ja Päikest ühendava sirglõigu ning siseplaneeti ja Päikest ühendava sirglõigu vahele, on alati teravnurk ning selle suurus ei ületa antud planeedi jaoks määratud piirväärtust. Seda nurka nimetatakse planeedi suurimaks eemaldumuseks ehk elongatsiooniks. Merkuuri suurim eemaldumus on 27°, Veenusel 48°. Seega *siseplaneetid paistavad alati Päikese lähedal*, kas hommikul idataevas või õhtul läänetaevas. Kuna Merkuur on Päikesele lähedal, siis õnnestub teda vaadelda harva (joon. 37).

Veenus eemaldub Päikesest küllalt suure nurga võrra ning paistab kõikidest planeetidest ja tähtedest heledamana. Pärast Päikese loojumist jääb Veenus kauemaks taevasse ning on ka eha foonil selgesti nähtav. Täpselt samuti on ta hästi jälgitav koidu-

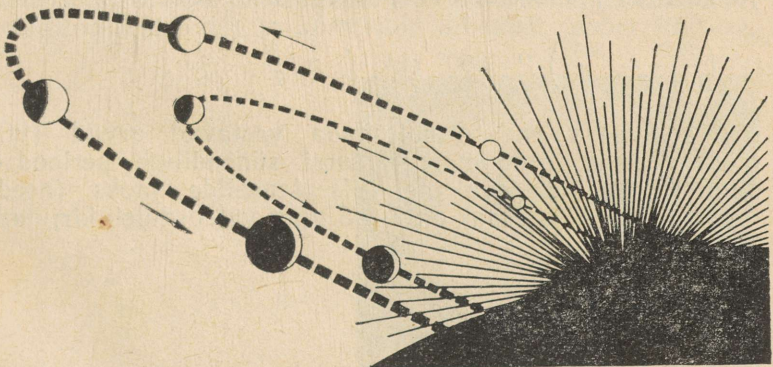
36. Planeetide konfiguratsioonid.



valguses. On selge, et lõunataevas ning üldse keskööl ei ole võimalik näha ei Veenust ega Merkuuri.

Kui Merkuur või Veenus Maa ja Päikese vahelt läbi minnes projekteeruvad päikeselehtale, siis on nad nähtavad väikeste mustade täpikestena. Sellised läbiminevad on Merkuuri, eriti aga Veenuse alumise ühenduse juures väga harukordsed.

Siseplaneetide Päikese poolt valgustatud poolkerad paistavad, olenevalt planeedi ja Maa asenditest, meile erinevalt. Maa pealse vaatleja suhtes *muudavad siseplaneedid oma faasi* just nagu Kuugi. Alumises ühenduses Päikesega on planeedid meie poole oma valgustamata küljega ning seega nähtamatud. Sellest asendist veidi kõrvale nihkunud, paistavad nad meile sirbina. Eemaldumuse suurenedes sirbi nurkdiaameeter väheneb, sirp ise aga laieneb. Kui Maa ja Päike planeedilt vaadatuna asuvad täisnurga all,



37. Merkuuri ja Veenuse orbiitide asendid horisondi suhtes Päikese loojumise ajal. Näidatud on faasid ja nähtavad diameetrid planeetide mitmesugustes asendites.

näeme Maalt planeeti poolringina. Valgustatud pool on tervenisti pööratud meie poole ülemise ühenduse korral. Siis aga kaob planeet päikesekiirtesse ning pole vaadeldav.

Välisplaneedid võivad Maalt vaadatuna jääda Päikese taha (ühendus Päikesega) samuti nagu Merkuur ja Veenus. Ka nemad kaovad sel juhul päikesekiirtesse. Välisplaneedid võivad asuda Maad ja Päikest läbival sirgjoonel selliselt, et Maa jääb planeedi ja Päikese vahele. Sellist konfiguratsiooni nimetatakse vastasseisuks. Niisugune asend on vaatlusteks sobivaim. Seejuures on planeet Maale ka kõige lähemal ning pööratud Maa poole oma valgustatud küljega. Asudes taevaskeral diametraalselt vastupidiselt Päikesega, kulmineerib planeet keskööl ning on järelikult kaua vaadeldav nii enne kui ka pärast keskööd.

Antud aasta planeetide konfiguratsioonimomendid, nähtavuse tingimused ning nende silmuselised liikumised tähistaeva foonil tuuakse astronoomilistes kalendrites.

2. Sünoodilised tiirlemisperioodid. Planeedi sünoodiliseks perioodiks nimetatakse ajavahemikku kahe ühenimelise konfiguratsiooni vahel. See on näiteks ajavahemik Marsi kahe teineteisele järgneva vastasseisu vahel.

Planeedi liikumise nurkkiirus on seda suurem, mida lähemal asub ta Päikesele. Seepärast hakkab Maa pärast Marsi vastasseisu viimasest ette minema. Iga päevaga läheb ta Marsist ikka kaugemale ja kaugemale. Kui Maa on Marsist terve täistiiru ette jõudnud, toimub jällegi Marsi vastasseis. Järelikult on välisplaneetide sünoodilised perioodid võrdsed ajaga, mille jooksul Maa jõuab planeedist 360° ette nende liikumisel ümber Päikese. Maa nurkkiirus on $360^\circ : T$, Marsi nurkkiirus — $360^\circ : S$. Siin T on päevade arv aastas; S — planeedi täheperiood, väljendatud ööpäevades. Kui T on planeedi sünoodiline periood ööpäevades, siis jõuab Maa planeedist P ööpäevaga 360° ette, s. o.

$$\left(\frac{360^\circ}{T} - \frac{360^\circ}{S} \right) P = 360^\circ \text{ ehk } \frac{1}{P} = \frac{1}{T} - \frac{1}{S}.$$

Kui sellesse valemisse paigutada vastavad arvud (vt. lisast tabel V), siis veendume, et Marsi sünoodiline periood on 780, Jupiteril 399 ööpäeva jne. Siseplaneetide jaoks (need tiirlevad kiiremini kui Maa) on $T > S$ ning valem tuleb kirjutada järgmiselt:

$$\left(\frac{360^\circ}{S} - \frac{360^\circ}{T} \right) P = 360^\circ.$$

Veenuse sünoodiline periood on 584 päeva.

Vanasti ei teadnud astronoomid kõikide planeetide täheperioode. Siis määrati sünoodilisi perioode otseste vaatluste abil.

Vaatlustega tehti kindlaks ajavahemik kahe teineteisele järgneva vastasseisu vahel, s. o. nende päevade vahel, millal planeet kulmineeris täpselt keskööl. Pärast sünoodiliste perioodide kindlaksmääramist arvutati välja planeetide tiirlemisperioodide pikkused. Kui hiljem Kepler avastas planeetide liikumise seadused, võis kolmanda seaduse alusel määrata planeetide suhtelised kaugused Päikesest, sest planeetide täheperioodid olid sünoodiliste perioodide kaudu juba välja arvutatud.

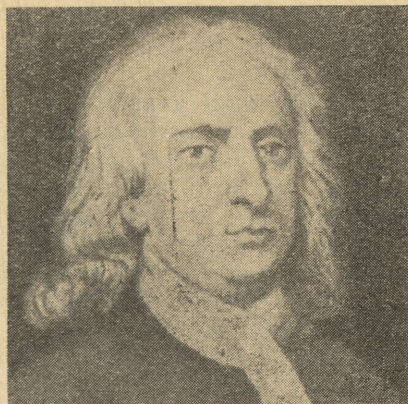
-
1. Jupiteri tiirlemise täheperiood on 12 aastat. Kui pikk on ajavahemik tema kahe vastasseisu vahel?
 2. Planeedi vastasseisude vahe on 2 aastat. Kui pikk on selle planeedi orbiidi suur pooltelg?

10. HÄIRED PLANEETIDE LIIKUMISES. LOODETE MÕISTE. MASSI MÄÄRAMINE.

1. Häired planeetide liikumises. Analüüsides Kepleri poolt avastatud planeetide liikumise seadusi, avastas Newton ülemaailmse gravitatsiooniseaduse. Vastavalt sellele seadusele **kõik kehad maailmaruumis tõmbavad teineteist jõuga, mis on võrdeline nende masside korrutisega ja pöördvõrdeline nendevahelise kauguse ruuduga:**

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

Siin m_1 ja m_2 on kehade massid, r — nendevaheline kaugus, f aga võrdetegur. Võrdeteguri arvuline väärtus oleneb ühikutest, millega mõõdetakse masse ja kaugust. Ülemaailmne gravitatsiooni-seadus selgitab planeetide ja komeetide liikumist ümber Päikesel,



Isaac Newton (1643—1727).

tehiskaaslaste liikumist ümber planeetide, kaksiktähtede liikumist ümber ühise raskuskeskme.

Kepleri seadused on täpsed ainult siis, kui tegemist on kahe kehaga, mis liiguvad vastastikuse külgetõmbe mõjul. Päikesesüsteemis on palju planeete ning need ei liigu täpselt Kepleri seaduste järgi, sest kõik nad tõmbavad üksteist. **Kõrvalekaldumisi Kepleri seadustega määratud liikumistest nimetatakse häireteks.** Päikesesüsteemis on häired väikesed, sest Päikese ja planeetide vahel on tõmbejõud märksa suuremad kui planeetide endi vahel.

Kõige suuremaid häireid põhjustab Päikesesüsteemis Jupiter. Jupiteri mass on 300 korda suurem kui Maa mass. Eriti tugevat mõju avaldab Jupiter tema lähedalt mööduvatele komeetidele ja asteroididele. Kui Jupiteri poolt komeedile antav kiirendus on samasuunaline Päikese poolt antava kiirendusega, saab komeet sellise kiiruse, et lahkub hüperbooli mööda liikudes igaveseks Päikesesüsteemist. On esinenud juhuseid, kus Jupiteri külgetõmme on pidurdanud komeedi liikumist, viimase orbiidi ekstsentrilisus on vähenenud ning tiirlemisperiood selle tulemusena tunduvalt lühenenud.

Planeetide nähtava asendi väljaarvutamisel tuleb arvestada häiretega. Arvutamiseks kasutatakse tänapäeval kiireid elektronarvuteid. Tehiskaaslaste väljasaatmisel ning nende trajektooride määramisel kasutatakse taevakehade liikumise teooriat, eriti häirete teooriat.

Võimalus mitte ainult valmistada planeetidevahelisi automaatajamu vaid ka suunata neid varem väljaarvutatud soovitatavatele trajektooridele ning tagada nende sihilejõudmine vaatamata häiretele — see kõik on veenvaks tõendiks looduseaduste tunnetatavusest. Taevas, mis usklikke ettekujutuste järgi pidi olema jumalate asukohaks, on saanud analoogiliselt Maaga inimtegevuse areeniks. Religioon on alati vastandanud Maad ja taevast ning pidanud viimast kättesaamatuks. Inimene aga mitte ainult ei tõusnud kõrgemale kui linnud, vaid võitis ka Maa külgetõmbejõu. Nüüd liiguvad planeetide hulgas inimeste loodud kosmoseaparaadid, mida juhitakse raadio abil miljonite ja sadade miljonite kilomeetrite kaugusele.

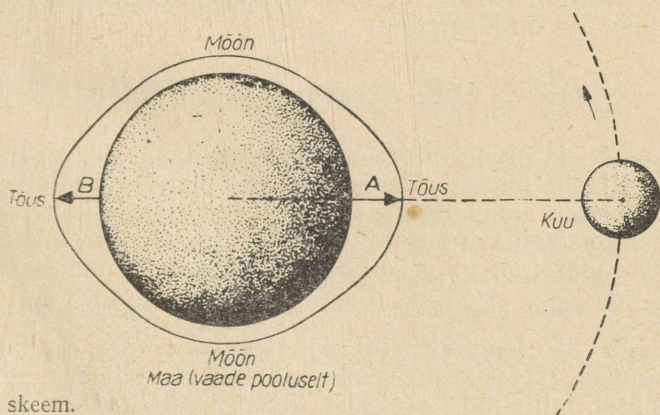
2. Neptuuni avastamine. Teaduse saavutuste, maailma piiramatute tunnetamise üheks eredamaks näiteks oli planeet Neptuuni avastamine laua taga tehtud arvutuste teel, n.-ö. «sule otsaga». Uraani—Saturni taga asuva planeedi avastas XVIII sajandi lõpul Herschel. Uraani peeti mitu sajandit Päikesesüsteemi viimaseks planeediks, mida võib heade vaatlustingimuste korral näha ka palja silmaga vaadeldes. XIX sajandi 40. aastatel näitasid täpsed vaatlused Uraani vaevumärgatavat kõrvalekaldumist sellest teest, mida mööda ta peaks liikuma kõigi tuntud planeetide poolt põhjustatud häireid arvestades. Täpne ja range taevakehade liikumise teooria nõudis uut kinnitust.

Le Verrier Prantsusmaal ja Adams Inglismaal oletasid, et kui Uraani sellist kõrvalekaldumist ei põhjusta tundud planeedid, peab temale mõjuma seni tundmatu keha. Peaaegu üheaegselt arvutasid nad välja koha, kus Uraani taga peaks asuma keha, mis oma külgetõmbega põhjustab Uraani kõrvalekaldumise. Nad arvutasid välja tundmatu planeedi orbiidi, massi ning näitasid koha taevas, kus tundmatu planeet antud ajal pidi asuma. 1846. a. leiti nende poolt arvutatud kohas uus planeet. Uuele planeedile anti nimeks Neptuun. Palja silmaga ei ole Neptuun nähtav. Nähtus, mis näis õõnestavat materialistliku teaduse autoriteeti, sai selle triumfiks.

3. Looded. Deformeerumisvõimelise keha üksikute osade omavahelise külgetõmbe mõjul peab keha võtma kera kuju. Seepärast on Päikese, planeetide, nende kaaslaste ja tähtede kuju lähedane kerale. Pöörlemisel tekkiva inertsitõttu toimub poolustel planeetide kokkusurumine. Nii on Maa poolustelt veidi kokku surutud. Kõige suurem on selline kokkusurutus kiiresti ümber telje pöörlevatel Jupiteril ja Saturnil. Kahe keha külgetõmbumine ei põhjusta mitte ainult liikumise muutust, vaid võib esile kutsuda ka vastastikku mõjuvate kehade kuju muutumist.

Kuu, mis tõmbab Maad enda poole, põhjustab Maa ookeanidel tõusude ja mõõnade tekkimise. Toimub veemasside väljavenitamine piki Maa ja Kuu keskpunkti ühendavat sirget.

Vähemärgatavad tõusud tekivad ka maakooses. **Loodeline jõud antud maakohas on Maa keskpunkti Kuu poole tõmbava jõu ja antud maapinna punkti Kuu poole tõmbava jõu vahe.** Maa keskpunkti tõmmatakse Kuu poole tugevamini kui temast kaugemal olevat maapinna punkti. Seepärast on Kuu poole pööratud poolkeral loodeline jõud suunatud Kuu poole, Kuust ära pööratud poolkeral aga vastupidi, järelikult Kuust eemale. Seepärast vesikest venibki välja piki Maa ja Kuu keskpunkte ühendavat sirget. Suurema näitlikkuse huvides on joonisel 38 kujutatud ookean ümber kogu maakera. Punktides *A* ja *B* on veenivoo kõige



38. Kuu loodete skeem.

kõrgem — seal on tõus. Piki ringi, mis on risti Maa ja Kuu keskpunkte läbiva sirgjoonega ja läbib Maa keskpunkti, on veepind kõige madalam — seal on mõõn. Maa ööpäevasel pöörlemisel liigub tõusu- ja mõõnavöö järgemööda kõikidesse maakera paikadesse. Kerge on mõista, et igas maakohas on ööpäevas kaks tõusu ja mõõna. Võib tõestada, et loodeline kiirendus muutub pöördverdaliselt kauguse kuubiga. Kui Kuu oleks meile kaks korda lähemal, siis suureneks tema külgetõmme 4 korda, loodeline kiirendus aga 8 korda.

Ka Päike põhjustab Maal tõuse ja mõõnasid, kuid need on Kuu poolt tingitult tunduvalt väiksemad ning vähem märgatavad.

Loodete mõjul paiknevad ümber hiiglaslikud veemassid. Tänapäeval hakatakse ookeanide ja avatud merede kallastel kasutama loodete poolt haaratud veemasside määratud energiat.

Pöörlemisel püüab Maa endalt tõusumõhka maha jätta, Kuu aga tõmbab seda enda poole. Selle tulemusena tekib nn. tõusuline hõõrdumine, mis pidurdab Maa pöörlemist, ning ööpäeva pikkus aja jooksul suureneb (kunagi oli see ainult 5—6 tundi). Päikese poolt tekitatavad tugevad tõusud ja mõõnad Merkuuril ja Veenusel on nende väga aeglase ümber telje pöörlemise põhjuseks. Tugevad looded, mida kutsus esile Maa, pidurdasid Kuu pöörlemist ning Kuu on alati pööratud Maa poole ühe ja sama poolega. Mehhaanika seaduste järgi põhjustab Maa pöörlemise aeglustumine Kuu eemaldumist Maast. Paljude miljonite aastate pärast jääb ka Maa Kuu poole kogu aeg ühe ja sama poolega. Maa ööpäeva pikkus on siis üks kuu, kusjuures kuu on sel ajal tunduvalt pikem kui ajavahemik, mille jooksul praegu teeb Kuu ühe täistiiru ümber Maa.

Seega on looded tähtsaks faktoriks taevakehade evolutsioonis.

4. Taevakehade massi määramine. Mass on taevakehade üks tähtsamaid iseloomustajaid. Kuidas aga määrata taevakeha massi?

Newton tõestas, et Kepleri kolmanda seaduse täpsem algebrailine kuju on järgmine:

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} \cdot \frac{M_1 + m_1}{M_2 + m_2} = \frac{a_1^3}{a_2^3},$$

kus M_1 ja M_2 on mingite taevakehade massid, m_1 ja m_2 aga nende kaaslaste massid. Teatavasti on planeedid Päikese kaaslased. Näeme, et kolmanda seaduse täpsustatud kuju erineb ligikaudselt masse sisaldava kordaja poolest. Kui $M_1 = M_2 = M$ all mõista Päikese massi, m_1 ja m_2 all aga kahe planeedi massi, siis erineb suhe $\frac{M+m_1}{M+m_2}$ vähe ühest, sest m_1 ja m_2 on Päikese massiga võrreldes väga väikesed. Sel juhul täpne valem ei erine ligikaudselt. Kepleri kolmas, täpsustatud seadus võimaldab määrata nende planeetide massi, millel on kaaslased, ning samuti Päikese massi.

Päikese massi määramiseks kirjutame kolmanda seaduse valemi järgmisel kujul, kus Kuu liikumine ümber Maa on võrdne Maa liikumisega ümber Päikese:

$$\frac{T_M^2}{T_K^2} \cdot \frac{M_P + m_M}{m_M + m_K} = \frac{a_M^3}{a_K^3}$$

Siin T_M ja a_M on vastavalt Maa tiirlemisperiood (aasta ööpäeva-des) ning orbiidi suur pooltelg. T_K ja a_K — Kuu tiirlemisperiood ümber Maa ja Kuu orbiidi suur pooltelg, M_P — Päikese mass, m_M — Maa mass, m_K — Kuu mass. Maa mass on Päikese massiga võrreldes praktiliselt null, Kuu mass Maa massiga võrreldes aga väike (1 : 81). Seepärast ei teki suurt viga, kui valemis teised liidetavad ära jätta. Lahendades võrrandi $\frac{M_P}{m_M}$ suhtes, saame:

$$M_P : m_M = (a_M : a_K)^3 : (T_M : T_K)^2.$$

Selle valemi järgi saab määrata Päikese massi Maa massi ühikuks võttes. Päikese mass on 332 000 Maa massi.

Maa massi võrdlemiseks mõne teise planeedi, näiteks Jupiteri massiga, tuleb lähtevalemis indeksitega 1 tähistatud suuruste määramisel arvestada Kuu liikumist ümber Maa, indeksitega 2 tähistatud suuruste määramisel aga mingi kaaslaste liikumist ümber Jupiteri.

Ilma kaaslasteta planeetide massid määratakse häirete abil, mida nad oma külgetõmbega tekitavad naaberplaneetide või komeetide liikumisele.

- ▶ 1. Määrake Jupiteri mass, võrreldes Jupiteri ja tema kaaslaste süsteemi Maa-Kuu süsteemiga. Jupiteri kaaslaste kaugus planeedist on 422 000 km, tema tiirlemisperiood aga 1,77 ööpäeva. Vastavad andmed Kuu kohta on varemõpitud teada.
- 2. Arvutada Maast kaugus, kus Maa ja Kuu külgetõmbejõud on võrdsed. Maa ja Kuu vahemaa on võrdne 60 Maa raadiusega, Maa ja Kuu masside suhe on aga 81 : 1.

11. VÕITLUS TEADUSLIKU MAAILMAVAATE EEST.

1. Varasemad ettekujutused universumist. Vaadeldavate taevanähtuste õige mõistmine ei tulnud korruga. Inimkonna helgemad pead tegid tõe otsimisel kaua ja püsivalt tööd. Neil tuli võidelda harimatusega, inertsusega, sajanditepikkuste eelarvamustega, mida toetas religioosset maailmavaadet levitav kirik.

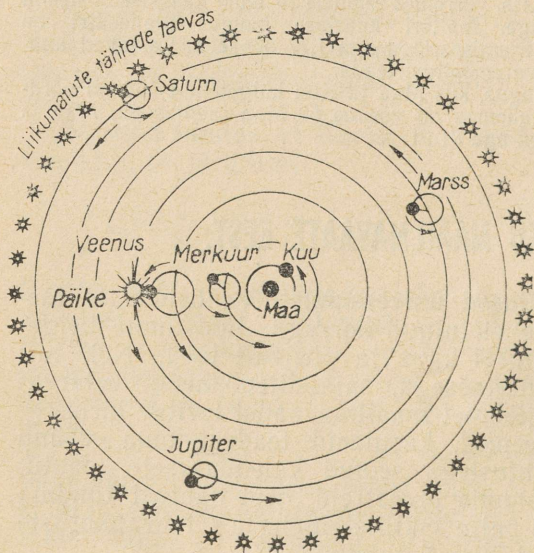
Preestrid, religiooni teenrid, kasutasid teadust oma võimu kindlustamiseks. Taevanähtustega seotud kalendaarsete daatumite kindlaksmääramine sundis preestreid neid nähtusi tundma õppima. Preestrid kogusid palju faktilist materjali taevanähtuste kohta, kuid ei osanud neid õigesti seletada.

Taevakehade olemuse uurimise asemel tegelesid nad astroloogiaga (vääleõpetus planeetide asukoha mõjust üksikute inimeste ja isegi riikide saatusele ning usk planeetide asendi järgi saatuse ennustamise võimalikkusesse). Selle abil hoidsid preestrid ebauskliku hirmu all mitte ainult rahvast, vaid ka rahva valitsejaid.

Koperniku avastus, mis andis õige seletuse planeetide silmusekujulisele liikumisele, Newtoni avastus, mis selgitas taevakehade liikumise põhjuse ning paigutas Maa ainult ühe planeedi ossa, löi jalad alt astroloogial.

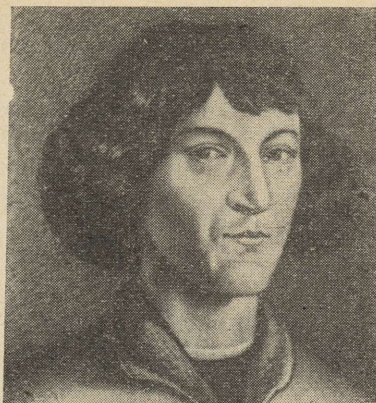
Kauges minevikus kujutleti Maad liikumatuna ja tasapinnalisena, mida katab kõva taevakuppel. Taevakehi peeti kord jumalate ilmutusteks, kord tulukesteks, mida jumalad on loonud taeva kaunistamiseks. Need ettekujutused on kirja pandud piiblis. Kristlik kirik säilitab piiblit kui dogmade kogu. See on kandnud läbi sajandite naiivset kujutlust Maast ja taevast. Vanast Babülooniast piiblisse sattunud ettekujutuse järgi peatas väejuht Jeesus Navin vajaduse korral Päikese liikumise taevas.

Meresõidu arenemine nõudis oskust orienteeruda taevakehade järgi. Kõige heledamad taevakehad on planeedid. Nende liikumine taevavõlvil kujutab silmuseid. Planeetide liikumise selgitamisel lähtuti sellest, et Maa on liikumatu ja taevas ümmargune. IV saj. e.m.a. elanud filosoof Aristoteles oletas, et iga planeet on kinnitatud kristallist kerale. Need kerad on paigutatud üksteise sisse ning pandud pöörlema ümber kerakujulise Maa. Kõige viimasele ja seega kõige kaugemale kerale on kinnitatud tähed.



39. Ptolemaiose maailmasüsteem.

Mikolaj Kopernik (1473—1543).



Hiljem, II sajandil m.a.j. selgitas vanakreeka teadlane Ptolemaios planeetide silmuselist liikumist järgmiselt. Planeedid liiguvad mööda ringjooni, mille keskpunktid tiirlevad ühtlaselt ümber liikumatu Maa (joon. 39). Planeetide orbiitide-ringjoonte ja perioodide suhted valis Ptolemaios selliselt, et nende abil sai eelnevalt välja arvutada planeetide asukohad taevavõlvil. Seda vajas meresõidu praktika. Maailmasüsteemi, mille keskpunktiks on Maa, nimetatakse geotsentriliseks (kreeka keeles *gē* tähendab Maad).

2. Koperniku revolutsiooniline avastus. XV ja XVI sajand oli suurte geograafiliste avastuste aeg. Koos uute maade avastamisega arenes kaubandus, kindlustus kodanlus ja intensiivistus võitlus feodalismi vastu. Kaubanduse areng nõudis meresõidu arendamist. Laevajuhtimisel oli vaja aga astronoomiat. Taevanähtuste väljaarvutamine, eriti planeetide asendi arvutamine oli Ptolemaiose süsteemi alusel tolle aja jaoks juba liiga vähese täpsusega. Pealegi oli see väga suur töö, sest tegelikkusega kooskõlastamiseks oli teooria liiga keerukas.

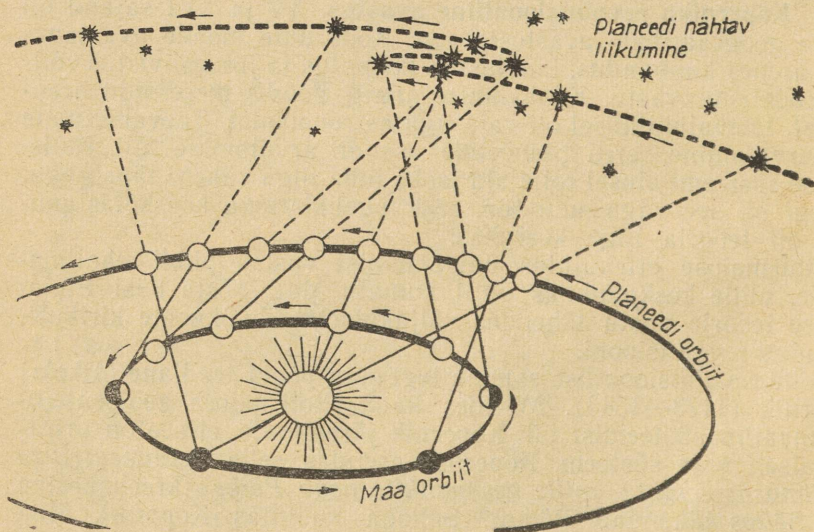
Ptolemaiose ettekujutus universumist vastas piibli maailmapildile, mille keskpunktiks oli liikumatu Maa. Tõsta käsi Ptolemaiose teooria vastu tähendas väljakutset kõikvõimsale kirikule, tähendas revolutsiooni.

Selle revolutsioonilise sammu tegi suur poola teadlane Mikolaj Kopernik (1473—1543). Mõeldes kaua Ptolemaiose geotsentrilisest maailmasüsteemist tuli Kopernik järeldusele, et see on printsiipsaalselt vale süsteem. Kopernik asendas selle heliotsentrilise maailmasüsteemiga, mille keskpunktis asub Päike (kreekakeelne sõna *hēlios* tähendab Päike). Sellega kuulutas Kopernik Maa mitte universumi keskpunktiks, vaid ainult üheks planeediks, mis tiirleb ümber Päikesele. See oli hiiglaslik pööre mõistetes, mis avaldasid määratult suurt mõju teaduse kogu edasisele arenemisele.

Tohutult revolutsiooniline mõju oli Koperniku õpetusel nii astronoomiale kui ka inimeste maailmavaatele üldse. Kõrgelt hindasid Koperniku õpetust marksismi rajajad. F. Engels märkis, et sellest alates vabanes looduse tundmaõppimine religioonist. Andis ju Koperniku õpetus otsese hoobi kujutlusele liikumatust Maast ning seadis kahtluse alla kõik teised kiriku tõekspidamised.

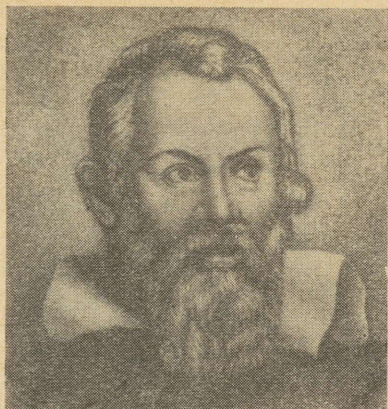
Kopernik selgitas päeva ja öö vaheldumist Maa ööpäevase pöörlemisega ümber oma telje, aastaegade vaheldumist aga Maa pöörlemistelje kaldasendiga ekliptika tasapinna suhtes ning Maa aastase tiirlemisega ümber Päikese. Päikese näivat aastast liikumist mööda ekliptikat seletas Kopernik Maa tiirlemisega ümber Päikese. Ta määras õigesti planeetide järjekorra nende ja Päikese vahelise kauguse järgi. Maa sai selles reas Päikesest alates kolmanda koha. Planeetide silmuselist liikumist taeva foonil seletas Kopernik Maal asuva vaatleja liikumise ja planeedi liikumise ühendumisega (joon. 40). Uue heliotsentrilise maailmasüsteemi õigsust kinnitasid Galilei avastused.

3. Galilei avastused. Kiriku võitlus teadusega. Väljapaistev itaalia õpetlane Galilei, kelle avastustega te füüsikast juba tuttavad olete, tegi palju avastusi ka astronoomias. 1609. a. ehitas ta väikese teleskoobi (teleskoobi leiutamine 1608. a. Hollandis oli talle teada) ja kasutas seda taevakehade vaatlemiseks. Oma teleskoobiga tehtud avastuste abil kinnitas ta Koperniku teooria õig-



40. Maalt vaadates kujutavad välisplaneetide teede projektsioonid taevavõlvil silmuseid.

Galileo Galilei (1564—1642).



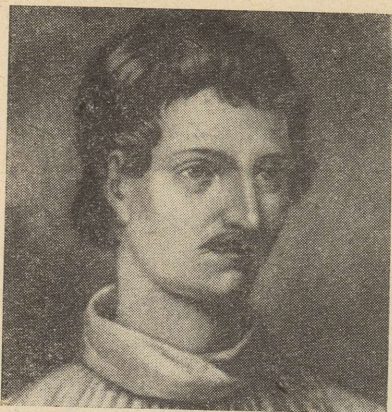
sust. Nii avastas Galilei Veenuse faasid. Galilei tegi kindlaks, et selline faaside vaheldumine on võimalik ainult siis, kui Veenus tiirleb ümber Päikesel, mitte aga ümber Maa. Kuul avastas Galilei mäed ning mõõtis nende kõrgused. Ilmnes, et Maa ja taeva — jumalate asukoha vahel ei ole printsiipiaalseid erinevusi. Maal asuvate mägedega sarnased mäed eksisteerivad ka taevakehadel. Nüüd oli kerge uskuda, et Maa on samuti ainult üks taevakehadest.

Galilei avastas Jupiteri neli kaaslast. Kaaslaste tiirlemine ümber Jupiteri lükkas ümber ettekujutuse, nagu võiks ainult Maa asuda tiirlemiskeskpunktis. Galilei märkas plekke Päikesel. Nende liikumisest järeldas ta, et Päike pöörleb ümber oma telje. Plekkide avastamine taevase «puhtuse» sümboliks oleval Päikesel oli samuti üheks kinnituseks selle kohta, et idee Maa ja taeva printsiipiaalsest erinevusest ei ole õige.

Linnutee lagunes teleskoobi vaateväljas lõpmata suureks hulgaks nõrkadeks tähtedeks. Universum seisis inimese ees kui midagi tohutult grandioossemat väikesest maailmakesest, mis Aristotelese ja Ptolemaiuse kujutluste järgi tiirles ümber Maa.

Veel enne Galilei avastusi sai Koperniku ideede propageerijaks itaalia kirjanik ja filosoof Giordano Bruno (1548—1600). Oma julgete mõtetega läks ta kaugemale kui Kopernik. Ta kinnitas, et tähed on samuti päikesed, mis on sarnased meie Päikesega, ehkki meist väga kaugel. Ta õpetas, et universum on lõpmatu, et seal on lõpmatult palju ka tähti ja planeete ning et elu eksisteerib paljudel planeetidel. Õeldu oli veel rohkem vastuolus kirikliku õpetusega ning õhonestas usku sellesse.

Oma teaduslike ideede pärast, millest ta ei tahtnud lahti öelda, põletati Bruno inkviitsioonikohtu otsusega elusalt tuleriidal. Nii õiendas kirik arveid kaugemale ette nägevate mõtlejatega, kes tegid Koperniku teooriast loogilisi filosoofilisi järeldusi.



Giordano Bruno (1548—1600).

Teaduse suurte märtrite hulka kuulub ka Galilei.

Koperniku ideede propageerimine Galilei poolt itaalia keeles, mis oli mõistetav laiadele lugejate ringidele, kutsus esile kirikutegelaste raevu. Kirjutasid ju siiani teadlased oma töid ladina keeles. Algul kuulutati Koperniku õpetus valeks, ketserlikuks ning selle propageerimine keelati. Kuna Galilei ei arvestanud seda keeldu, kutsuti ta kohtu ette. Hirm piinaniiste ees sundis elatanud teadlast 1633. a. ametlikult lahti ütleva oma vaadetest ja «kahetsema» seda, et ta oli levitanud Koperniku õpetust. Pärast seda pealesunnitud kahetsemist panid kirikutegelased Galilei kodusse aresti ning keelasid tal trükkida astronoomia-alaseid raamatuid. Venemaal levisid heliotsentriline ettekujutus maailmast ja vaatlused teleskoobiga alles XVIII sajandil. Julgelt võitles kirikutegelastega õiguse eest levitada autentseid teadmisi universumi ehitusest M. Lomonossov (1711—1765). Teravmeelsetes ning kõitvates satiirilistes värssides naeris Lomonossov välja pimedusejüngreid. Koperniku õpetusest järeldas Lomonossov mõistusega olendite paratamatu eksisteerimise teistel planeetidel.

Teadusliku maailmavaate eest peetava võitluse üldnimlikuks tulemuseks oli inimõistuse vabanemine surve alt, loobumine kiriklike dogmade pimedast järgimisest, kutse looduse julgeks materialistlikuks uurimiseks ning tehnika edasiarendamiseks.

12. MAA, TEMA KUJU, MÕÕTMED JA MASS.

1. Maa kuju ja mõõtmed. Kosmonaudid saavad rohkem kui 200 km kõrguselt vahetult veenduda, et Maa on kerakujuline. Kosmoses tehtud fotodel on horisont kaarekujuline. Kuna horisont paistab sellisena Maa mistahes kohal asuvale kosmonaudile, siis saab siit järeldada, et Maa on kerakujuline.

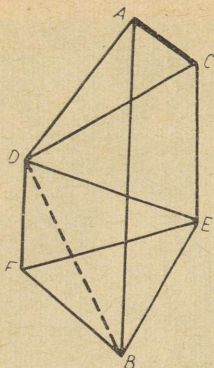
Suurepäraseks illustratsioonideks väitele, et Maa on kerakujuline ning teistega sarnane taevakeha, on joonistel 30 ja 41 toodud fotod. Need kujutavad kosmosest pildistatud maakera. Maa ja Päikese erinevate asendite korral paistab Maa nagu Kuugi poolringina seepärast, et ta on kerakujuline ning teda valgustab küljelt Päike. Umbes pool Maa pinnast on alati kaetud pilvedega, seepärast on nende vahelt raske tabada mandrite tuttavaid piirjooni.

Täpsema vastuse Maa kuju ja mõõtmete kohta annab kraadimõõtmine, s. o. 1° pikkuse kaare mõõtmine kilomeetrites Maa mitmesugustes kohtades. Seda meetodit kasutas juba III sajandil e.m.a. Egiptuses elav kreeka teadlane Eratosthenes. Suure täpsusega kasutatakse seda meetodit nüüd geodeesias — teaduses Maa kujust ja mõõtmistest maapinnal, kus arvestatakse Maa kõverust. Tasasel maastikul valitakse kaks punkti A ja B , mis asuvad ühel meridiaanil. Astronoomiliste meetodite abil määratakse nende punktide geograafilised koordinaadid. On selge, et meridiaanringi kaare pikkus kraadides punktide A ja B vahel on võrdne nende punktide geograafiliste laiuste φ_A ja φ_B vahel $\varphi_A - \varphi_B$. Mõõdetakse ka kaare AB pikkus kilomeetrites. Vahemik AB võetakse tavaliselt mitusada kilomeetrit.

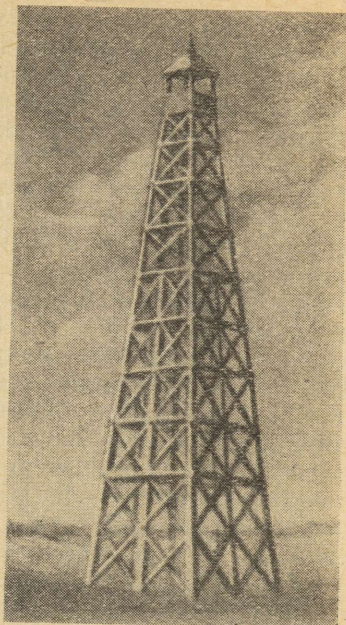
Kuna sellistes vahemikes ei ole maapind ühtlane ning punktist A punktisse B ja vastupidi puudub otsene nähtavus, kasutatakse



41. Maa foto, mis on tehtud kosmosest.



42. Triangulatsiooni skeem.



43. Geodeetiline signaal.

nn. triangulatsioonimeetodit (ladinakeelsest sõnast *triangulum* — kolmnurk, joon. 42). Triangulatsioonimeetodi järgi kaetakse ruum punktide *A* ja *B* vahel kolmnurkadega, mille tippudeks on geodeetilised signaalid (joon. 43). Viimaseid nimetatakse mõnikord ka geodeetilisteks märkideks. Te olete arvatavasti kohanud neid signaale — võrejäid puittorne — nii mägedes kui põllul. Sellise signaali tipust peab olema näha veel vähemalt kaks teist geodeetilist signaali. Mõõdetakse kolmnurkade nurki. Küljed arvutatakse nurkade ja ühe mõõdetud külje, nn. baasi kaudu. Viimane peab algama punktist *A*. Baasi pikkus tuleb mõõta väga suure täpsusega.

Meridiaanikaare *AB* pikkus kujutab endast kasutatud kolmnurkade külgede projektsioonide (sellele sihile) summat. Seejuures peavad nurgad, mille küljed meridiaanitasapinnaga moodustuvad, olema muidugi teada.

Kui mõõdetava kaare pikkus kilomeetrites on S , kraadides aga $\Delta\varphi$, siis kerakujulise Maa korral peab ühele kaarekraadile (1°) vastama kilomeetrites pikkus $n = S : \Delta\varphi$.

Üks suurimaid meridiaanikaare mõõtmisi (Põhja-Jäämerest kuni Musta mereni) toimus Venemaal ja Skandinaavias juba XIX saj. keskel F. v. Struve. Pulkovo observatooriumi direktori juhtimisel. Suuri geodeetilisi mõõtmisi on NSV Liidus läbi viidud pärast Suurt Sotsialistlikku Oktoobrirevolutsiooni.

Maa ümbermõõt $S=360^\circ \cdot n$. Jagades selle 2π -ga, saame Maa raadiuse.

Kraadimõõtmised näitasid, et meridiaanikaare ühe kraadi pikkus on suurim (111,7 km) pooluselähedastel aladel, väiksem (110,6 km) aga ekvaatori lähedal. *Järelikult on Maa ekvaatoril kõveram kui poolustel.* Maa kokkusurutus seletub inertsinähtusega Maa pöörlemisel. Kiire pöörlemine põhjustab planeetide tugevat kokkusurutust, mida iseloomustatakse lapikusega. Lapikuseks nimetatakse ekvatoriaalse (a) ja polaarse raadiuse (b) vahe ja ekvatoriaalse raadiuse suhet:

$$\Sigma = \frac{a-b}{a}$$

Maa lapikus $\Sigma=1:298$, kiiresti pöörlevatel Jupiteril ja Saturnil aga tunduvalt suurem. Saturni $\Sigma=0,1$. Maad võib lugeda pöördeellipsoidiks, s. o. kehaks, mis saadakse ellipsi pöörlemisel ümber väikese telje.

Maa ekvatoriaalne raadius on polaarsest raadiusest 21,4 km pikem. Seega ei ole Maa meridiaanlõige mitte ring, vaid ellips. Maa tehiskaaslaste liikumise tundmaõppimine viimastel aastatel võimaldas määrata Maa lapikuse nende häirete alusel, mida tehiskaaslaste liikumises põhjustas ekvatoriaalsete piirkondade suurem mass.

Kui Maad lihtsuse mõttes vaadelda kerakujulisena, siis on tema raadius 6371 km — see on Maaga võrdse suurusega kera raadius. Vastavalt nõukogude teadlaste andmetele on Maa ekvatoriaalne raadius 6378,24 km.

- ▶ 1. Geograafiline laius määratakse täpsusega $0,1''$. Kui suur on võimalik viga maapinnal piki meridiaani kilomeetrites?
- 2. Meremiil on võrdne ekvaatorikaare ühe sekundiga. Arvutage meremiili pikkus kilomeetrites.

F. v. Struve (1793—1864).



2. **Maa mass ja tihedus.** Maa massi saab määrata mitmete meetoditega.

Füüsikast on teile tuttav Cavendishi katse torsioonkaaludega, mille abil ta määras pliikerade vahelise külgetõmbe jõu. See andis ülemaailmse gravitatsiooniseaduse valemis

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

esineva koefitsiendi f väärtuseks $6,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{cm}^3}{\text{g} \cdot \text{s}^2}$.

Maa keskpunkti külgetõmbe mõjul langevad kehad merepinnal ja laiusel 45° vabalt kiirendusega $980,6 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2}$. See kiirendus

$$g = f \frac{M}{R^2},$$

kus M on Maa mass, R aga raadius. Maa raadius on 6371 km. Paigutades valemisse meile teadaolevad g , f ja R väärtused, leiame, et Maa mass $M = 6 \cdot 10^{27}$ g.

Teades Maa massi ja ruumala, võib arvutada tema keskmise tiheduse. See on $5,5 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$. Seejuures aga tihedus Maa keskpunkti suunas suureneb. Keskpunkti lähedal, Maa tuumas on tihedus $11 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$. Tiheduse sellist suurenemist põhjustab raua ja teiste raskete elementide osatähtsuse suurenemine, aga samuti ka rõhu suuremine Maa sisemuses.

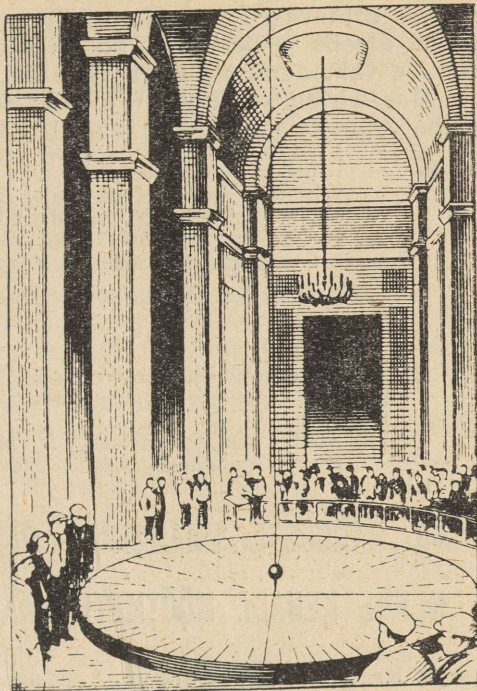
Teades Maa massi grammides, võime grammides väljendada ka teiste taevakehade masse.

- ▶ 1. Kuidas tõestada, et Kuu ei ole malmist, kui on teada, et ta mass on Maa massist 81 korda väiksem, raadius aga 4 korda väiksem?
- 2. Kuu kaugus Maast on 384 000 km, keskmine nurkkiirus ööpäevas $13^{\circ}2'$. Kui suur on Maa mass?

13. MAA ÖÖPÄEVASE PÖÖRLEMISE JA ÜMBER PÄIKESE TIIRLEMISE TÕESTUSED.

1. **Foucault' katse.** Klassikaliseks tõestuseks Maa ümber oma telje pöörlemise kohta on prantsuse füüsiku Foucault' meetodi järgi korraldatud pendlikatse. Selline 93 m pikkune pendel on paigutatud Iisaku katedraali Leningradis (joon. 44). Foucault' pendli võib valmistada ka ise. Katse põhineb pendli omadusel säilitada oma võnketasapind ka siis, kui kinnituspunkt pöörleb. Seda omadust saab demonstreerida, kui riputada pendel kooli tsentrifugaalmasina telje külge. Kui nüüd telge pöörata, säilitab pendel oma esialgse võnketasapinna. Järelikult, kui pendel panna võnkuma

44. Foucault' pendel Leningradis Iisaku katedraalis.



Maa pooluse kohal, siis pöörduks Maa pendli all 15° tunnis. Teooria ja katse kinnitavad, et geograafilisel laiusel φ näib pendli võnketasapind pöörduvat tunnis $15^\circ \sin \varphi$ võrra. Maa ekvaatoril pendli võnketasapinna pöördumist ei esine.

Maa pöörlemine ümber oma telje põhjustab näiteks ühe jõe kalda suuremat uhtumist (kumba nimelt?). Samal põhjusel kalduvad kõrvale kauglaskemürsud, ballistilised raketid, tuuled kalduvad põhjapoolkeral paremale, lõunapoolkeral vasakule.

2. Maa ümber Päikese tiirlemise tõestus. Tänapäeva astronoomia paljud saavutused põhinevad Maa ümber Päikese tiirlemise seadustel. Spektraalanalüüs näitab, et igal aastal ühel ja samal ajal me läheneme ühtedele tähtedele ning eemaldume vastaspoolel olevatest tähtedest kiirusega $30 \frac{\text{km}}{\text{s}}$, kui need mõlemad tähtedegrupid on ekliptika tasapinna lähedal. Märgitud kiirus on Maa liikumise kiirus mööda orbiiti. Seega muutub Maa liikumise suund 1-aastase pericodiga. See on otseseks tõestuseks Maa aastasest tiirlemisest ümber Päikese. Aastaaegade eksisteerimise põhjuseks on Maa tiirlemine ümber Päikese ning Maa pöörlemistelje kalle ekliptika tasapinna suhtes $66 \frac{1}{2}^\circ$ nurga all. Elliptilisest orbiidist tingituna on Maa jaanuaris Päikesele veidi lähemal kui

juulis. Erinevused Maa ja Päikese vahelises kauguses suvel ja talvel afeelis ja periheelis on nii väikesed, et see avaldab aastaegade vaheldumisele väga vähe märgatavat mõju.

Maa tiirlemisel ümber Päikese jääb Maa telg alati iseendaga (oma eelmiste asenditega) paralleelseks.

1. Füüsikas tõestatakse, et kui α on kiirte langemisnurk tasapinnale, siis valgustustugevus sellel pinnal $E = E_0 \cos \alpha$. Valemis on valgustustugevus sel juhul E_0 , kui valgus langeb pinnaga risti ($\alpha = 0$). Teades Päikese nurkkaugust taevaekvaatorist suvisel ja talvisel päikeseseisul, määrake päikesekiirte maapinnale langemise nurk nende päevade keskpäeval maakohtades, mille geograafiline laius on $53 \frac{1}{2}^\circ$ ja $23 \frac{1}{2}^\circ$.
2. Leidke eelmise ülesande andmete põhjal saadud suvise ja talvise valgustustugevuse suhe mõlema maakoha jaoks ning võrrelge tulemusi.
3. Kuidas muutuks aastaegade vaheldumine, kui Maa telg oleks analoogiliselt Jupiteriga risti orbiidi tasapinnaga?

14. KAUGUSTE MÄÄRAMINE PÄIKESESÜSTEEMI KEHADENI. NENDE KEHADE MÕÖTMETE MÄÄRAMINE.

1. Kauguste määramine. *Kepleri kolmanda seaduse abil võib kõikide planeetide kaugusi väljendada Maa ja Päikese vahelise keskmise kauguse kaudu. Määratud selle keskmise kauguse kilomeetrites, võib kilomeetrites määrata kõiki kaugusi Päikesesüsteemis.*

Käesoleva sajandi neljakümnendatel aastatel andis radiotehnika meile võimaluse määrata kaugusi taevakehadeni raadiolokatsiooni abil. Võimas signaal saadetakse taevakehani ning mõõdetakse aeg signaali väljasaatmise ja väga tundlikus vastuvõtjas vastuvõtmise momendi vahel. Korrutades pool sellest ajast elektromagnetiliste lainete levimiskiirusega, saadakse kaugus taevakehani. Kõigepealt võeti raadiokaja vastu Kuult. Siis täpsustasid Nõukogude ja Ameerika teadlased raadiolokatsiooni abil kaugused Merkuurini, Veenuseni, Marsini ja Jupiterini.

Klassikaliseks kauguste määramise meetodiks oli ja jääb geomeetriline nurkade mõõtmise meetod. Selle meetodi abil määratakse vahemaa ka kauge te tähtedeni, mida raadiolokatsiooniga teha ei saa.

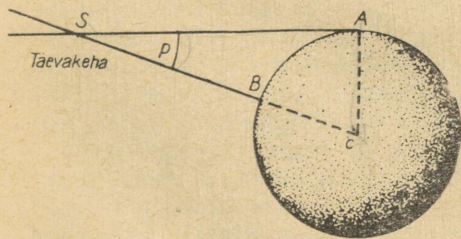
Geomeetriline meetod põhineb parallaktilise nihkumise nähtusel. **Parallaktiliseks nihkeks nimetatakse eseme näivat nihkumist, mis on tingitud vaatleja asukoha muutumisest.** Vaadeldge oma vertikaalset ülestõstetud sõrme algul ühe, siis aga teise silmaga ja te näete, kuidas sõrm muutis oma asendit kauge te esemete taustal, kuidas muutus sõrme nägemise suund. Mida kauge-

male silmast te sõrme viite, seda väiksem on parallaktiline nihkumine. Nihkumine on seda suurem, mida kaugemal asuvad teineteisest vaatluspunktid, s. o. mida suurem on baas. Meie näites oli baasiks silmadevaheline kaugus. Kirjeldatud printsiipi kasutatakse laialt sõjanduses märgi kauguse määramisel vastava kaugusmõõtja abil. Kaugusmõõtjas on baasiks kahe objektiivi vaheline kaugus.

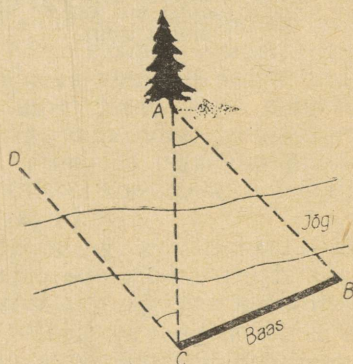
Päikesesüsteemi kuuluvate kehade kauguse määramisel kasutatakse baasina Maa raadiust. Taevakeha, näiteks Kuu asendit vaadeldakse üheaegselt kahest observatooriumist. Observatooriumide kaugus teineteisest mööda sirgjoont (baas) peab olema ligikaudu võrdne Maa raadiusega ning risti taevakeha suunaga. Kui baasiks oleks võetud Maa raadius CA ning vaatlejad asuksid punktides A ja B , siis taevakehalt S paistaks Maa raadius nurga p all (joon. 45). **Nurka, mille all taevakehalt vaadatuna paistaks Maa raadius, mis on risti vaatesuunaga, nimetatakse horisondiliseks parallaksiks.** See on võrdne parallaktilise nihkumisega, nagu selgub jooniselt 46, kus nihkumine on kujutatud tipu C juures oleva nurgaga. Parallaks on joonisel märgitud nurgaga tipu A juures. Need on võrdsed kui paralleelsete sirgete lõikumisel kolmanda sirgega tekkinud nurgad ($CD \parallel BA$ vastavalt joonise konstrueerimisele).

Kaugus $SC = D = R : \sin p$. R on siin Maa raadius. Kui võtta R ühikuks, siis võib väljendada kaugust taevakehani Maa raadiuse ühikutes. Kuu parallaks on $57'$. Kõik planeedid ja Päike asuvad Maast palju kordi kaugemal, seepärast on nende parallaksid ainult mõne sekundi suurused. Päikese parallaks $p_0 = 8'',8$. See määrab astronoomilise ühiku pikkuse. Ümardatult on see 149 600 000 km.

1961.—1963. a. korraldatud planeetide radiolokatsiooniliste vaatluste alusel on astronoomilise ühiku pikkuseks 149 598 500 km.



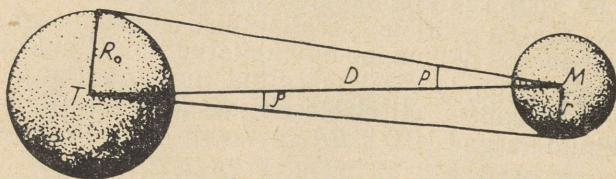
45. Taevakeha horisontaalne parallaks.



46. Kauguse mõõtmine ligipääsmatu objekti parallaktilise nihkumise abil.

- ▶ 1. Kui suur on Jupiteri horisontaalne parallaks vastasseisu momendil? Jupiter on Päikesest 5 korda kaugemal kui Maa.
- 2. Kuu kaugus Maast orbiidi kõige lähemas punktis (perigees) on 363 000 km, kõige kaugemas punktis (apogees) aga 405 000 km. Määrake Kuu horisontaalne parallaks nendes tingimustes.

2. Taevakehade mõõtmete määramine. Joonisel 47 on T Maa keskpunkt, M — mingi taevakeha keskpunkt. Horisondilise parallaksi järgi on p nurk, mille all paistab Maa raadius R_0 . On selge, et taevakeha raadius $r = \frac{\sin q}{\sin p}$ Maa raadiust. Kui nurgad q ja p on väikesed, siis on nende siinused võrdelised nurkadega ning võib kirjutada: $r = \frac{q}{p}$ Maa raadiust. Sellist moodust kasutatakse ainult siis, kui taevakeha on nähtav kettana. Seega, teades kaugust taevakehani ning mõõtnud tema nurkdiaameetri, võib arvutada taevakeha joondiaameetri.



47. Taevakehade mõõtmete määramine.

Kui taevakeha kettana ei ole nähtav (näiteks asteroidid), siis määratakse tema diameeter (ligikaudne) teiste meetodite abil.

- ▶ 1. Mitu korda on Päike Kuust suurem, kui nende nurkdiaameetrid on võrdsed, horisondilised parallaksid aga vastavalt $8''$, $8'$ ja $57'$?
- 2. Kui suur on Päikese nurkdiaameeter Pluutolt vaadatuna?
- 3. Mitu korda saab Merkuuri 1 cm^2 suurune pind Päikeselt rohkem soojust kui km^2 -ne pind Marsil? Vajalikud andmed leidke lisast raamatu lõpus.

III. PÄIKESESÜSTEEMI PLANEETIDE FÜÜSILINE LOOMUS.

15. SUURTE PLANEETIDE ÜLDINE ISELOOMUSTUS NING NENDE UURIMISE MEETODID.

Te juba tutvusite planeetide asetusega Päikesesüsteemis. Valguse ja soojuse saavad planeedid Päikeselt. Seepärast sõltuvad füüsilised tingimused planeetide pinnal nende kaugusest Päikesest. Sellest oleneb suuresti ka elu võimalikkus planeetidel. Kui planeet on Päikesele väga lähedal, siis võib seal olla nii kuum, et elav valk kalgendub ja vesi ei saa eksisteerida vedelikuna. See on aga kõrgema elutegevuse jaoks vajalik. Kui planeet asub Päikesest liiga kaugel, siis vesi temal külmub, ilma veeta pole aga ainevahetust. Bioloogiast te ju teate, et ainevahetus on elutegevuse alus. Mitte vähem tähtis faktor on raskusjõud planeedil. Näiteks Kuul on raskusjõud 6 korda väiksem kui Maal. Ühesuurused jõud võivad Kuul anda palju suuremaid tulemusi kui Maal. Määratult suur tähtsus on ka atmosfääri olemasolul, selle tihedusel, rõhul, keemilisel koostisel. Meile tuntud eluvormid nõuavad küllalt suure tihedusega vaba hapnikku ja süsihappegaasi. Atmosfääril ja tema ringkäigul on suur tähtsus planeedi pinnaehituse kujunemisel. Tuul ja vesi lõhuvad ning tasandavad mägesid. Mäed ja teised pinnavormid tekivad aga maakooses ja maakoore all toimuvate liikumiste tulemusena. Viimased olenevad planeetide sisemusest: selle tihedusest, keemilisest koostisest, füüsikalistest omadustest, sageli nende agregaatolekust.

Planeetide sisemust mõjutab temperatuur, mis radioaktiivsel lagunemisel eralduva soojuse mõjul võib aga tõusta. Teiste sõnadega — planeedi sisemuse temperatuur sõltub sisemuse keemilisest koostisest. Kõigist neist tingimustest oleneb orgaanilise elu eksisteerimine planeedil. Planeedi esialgses atmosfääris ühineb hapnik kiiresti teiste elementidega ning läheb seega vabast olekust seotud olekusse. Praegu Maa atmosfääris esinev hapnik on siia sattunud hiljem. Hapnik on nimelt tekkinud taimede tegevuse tulemu-

sena. Süsiniku assimilatsiooniprotsessis vabastavad taimed hapniku, mis satub atmosfääri. Ka inimese tegevus muudab planeedi ilmet. Seega näeme, et nähtused Maal ja kosmoses on omavahelises sõltuvuses.

Kõige suuremat huvi pakuvad need planeedid, kus on või kus võib olla elu. Sellised planeedid on aga meie jaoks seni veel liiga kauged, et vahetult veenduda elu olemasolus nendel. Seni tuleb uurida mitte just kerget probleemi — kas antud planeedil on sellised tingimused, mis võimaldavad elu olemasolu. Eluks vajalikud tingimused on meile Maa tingimuste põhjal tuttavad. Küsimuse teistsugune seadmine oleks ebateaduslik. Marksistlik filosoofia — dialektiline materialism — õpetab, et **elu on materia eksisteerimise kõrgeim vorm, mis tekib seal, kus on olemas selleks vajalikud tingimused.**

Võrreldes planeetide pinnalt ja Maa kivimitelt peegeldunud valguskiiri, võib nende värvuste järgi oletada, milliseid kivimeid on planeetidel. Oletusi saab kinnitada maailmaruumist Maale langenud meteoriitide keemilise analüüsiga. Selgub, et meteoriidid koosnevad samadest ainetest, millest maapealsedki kivimid. See ei viita mitte ainult looduse materiaalsele ühtsusele, vaid palju keerulisemate ühendite ja kristallide formeerumise seaduste sarnasusele Maal ja teistel Päikesesüsteemi kehadel. See annab teadusliku aluse meie oletustele teiste planeetide pinna ja sisemuse koostise kohta.

Läbi atmosfääri tungivad valguskiired murduvad. Muutub nende nähtavus — valgus nõrgeneb ning muudab oma varjundeid. Kui Kuu või planeedid varjavad meie eest mingit tähte, siis peab tähe valgus algul läbima Kuu või planeedi atmosfääri, kui see muidugi olemas on. Atmosfäär planeedi ümber mõjutab tähe valgust — see nõrgeneb. Nii tehti kindlaks, et Kuul ei ole atmosfääri, Marsil, Veenusel ja hiidplaneetidel on see aga olemas.

Päikesevalgus läbib kaks korda planeedi atmosfääri, enne kui jõuab Maale. See põhjustab planeedilt peegeldunud valguse spektri erinevuse Päikese spektriga võrreldes. Nii põhjustavad planeedi atmosfääri sellised gaasid, mida ei ole Päikese ega Maa atmosfääris, planeedi pinnalt peegeldunud valguse spektris uute neeldumisjoonte tekkimise. Selliselt saab kindlaks määrata planeetide atmosfääride keemilised koostised. Pärast seda võib teoreetiliselt arvutada rõhu atmosfäärides jne.

Planeetide pöörlemine ümber oma telje tehakse kindlaks nende ketastel olevate plekkide asendite joonistamise või fotografeerimise teel. Spektrijoonte nihkumise kaudu võib kindlaks teha ka planeedi äärte vastupidised kiirused.

Viimastel aastatel on planeetidest teada saadud palju uut selliste uurimismeetoditega, nagu raadiokiirguse vastuvõtmine, raadiolokatsioon ja planeetide uurimine automaatsete kosmosejaamade abil. Raadiomeetodite abil avastati Päikesesüsteemi mitmete

kehade raadiokiirgus ning Merkuuri ja Veenuse pöörlemine, mida varem polnud võimalik õigesti määrata. Raadiomeetodite abil saab andmeid planeetide atmosfääride temperatuuridest, pindade ebahütlusest, atmosfääride elektrilistest omadustest.

Automaatsetelt kosmosejaamadelt, mis lendavad Kuu või planeetide ümber või nendest mööda, võib pildistada taevakehi küllalt lähedalt ning transleerida siis neid võtteid Maale. Seejuures võivad automaatjaamade seadmed mõõta ka temperatuuri, pinna radioaktiivsust, magnetvälja tugevust, elektriliselt laetud osakeste olemasolu planeetide ümbruses jne.

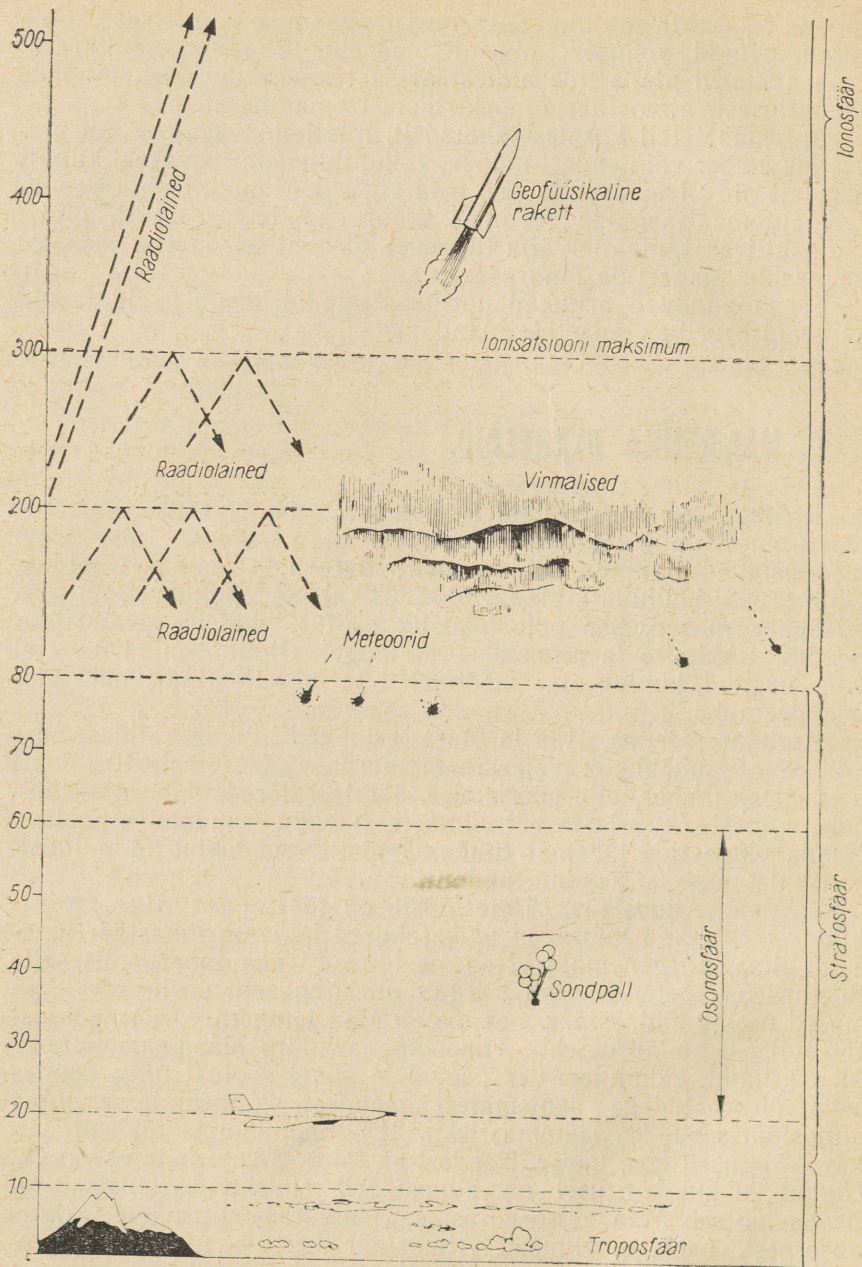
Seega annavad arvukad uurimismeetodid meile usaldatavaid andmeid Kuu ja planeetide maailmast.

16. MAA-RÜHMA PLANEEDID.

1. Maa-rühma planeetide iseloomustus. Nelja Päikesele lähemat planeeti nimetatakse Maa-rühma planeetideks. Teise grupi moodustavad hiidplaneedid Jupiter, Saturn, Uraan ja Neptuun. Ühte gruppi kuuluvate planeetide füüsikalised tingimused on üksteisega sarnased. See pole juhuslik nähtus, vaid on seotud planeetide tekkimise ja arenemise ajalooga. Pluuto, mida on veel vähe uuritud, kuulub oma mõõtmetelt ja massilt Maa-rühma planeetide hulka.

Merkuur, Veenus, Maa ja Marss erinevad hiidplaneetidest oma väiksemate mõõtmete, väiksemate masside, suuremate tiheduste, aeglasema ümber telje pöörlemise, ääretult hõredamate atmosfääride, väheste kaaslaste või viimaste täieliku puudumise poolest. Nende planeetide lähemat tundmaõppimist soodustab Maa füüsikalise loomuse sügavam tundmine.

2. Maa. Atmosfäär. *Atmosfääril on tähtis osa Maa soojusbilansis.* Silmaga nähtavad päikesekiired läbivad atmosfääri pea-aegu ilma nõrgenemata. Nad neelduvad maapinnas, mis selle tulemusena soojeneb ning kiirgab infrapunaseid soojuskiiri. Viimased neelab hüdrofäär. See tõstab Maa temperatuuri ja põhjustab selliselt nn. auruefeki. Atmosfäär ja hüdrofäär pehmenavad Maa kliimat, akumuleerides päeval ja suvel soojust ning kandes seda õhuvooludega soojematest maadest külmematesse. Maa atmosfääris on 78% lämmastikku, 21% hapnikku ja tühiselt väikesed kogused teisi gaase. Nendest on tähtsad veeaur ja osoon O₃. Umbes 20 km kõrgusel on atmosfääril suurim osoonisisaldus. Osoon kaitseb Maa elusorganisme ülemäärase ultravioletse kiirguse eest, neelates viimast. Atmosfäär kaitseb meid ka mikrometeoroidide vahetpidamatu pommitamise ja kosmilise kiirguse hävitava mõju eest. Kosmiline kiirgus on maailmaruumist pärit kolossaalse kineetilise energiaga osakeste voog.



48. Atmosfääri ehitus.

Primaarne kosmiline kiirgus kujutab endast prootonite, elektronide ja raskete elementide tuumi, mis liiguvad kosmosest valguse kiirusele lähedase kiirusega. Nende kineetiline energia on miljardeid elektronvolte. Primaarsed kosmilised kiired maapinnani ei küüni, nad põrkuvad atmosfääri gaaside aatomitega, lõhuvad need ning põhjustavad selliselt sekundaarse kosmilise kiirguse, mis jõuab maapinnani. Umbes 1% primaarsest kosmilisest kiirgusest, mida uuritakse tehiskaaslaste abil, on pärit Päikese atmosfäärist. See tekib Päikesel toimuvate tuumareaktsioonide tulemusena. Ülejäänud osa kosmilisest kiirgusest satub Päikesesüsteemi väljaspoolt, selle päritolu alles selgitatakse.

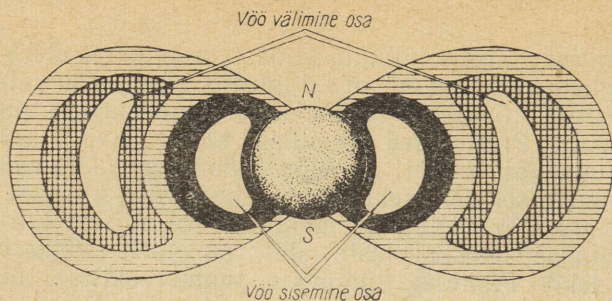
Atmosfääri alumist kihti nimetatakse *troposfääriks*. Selle kõrgus keskmistel laiustel on 10—12 km (joon. 48). Troposfääri temperatuur kõrguse suurenedes väheneb. Troposfäärist kõrgemal algab *stratosfäär*, atmosfääri kiht, mille temperatuur on ühtlane, umbes -40°C . Umbes 25 km kõrgusel atmosfääri temperatuur tõuseb Päikese ultravioletse kiirguse neeldumise tulemusena.

Atmosfääri tihedus kõrguse suurenedes väheneb. 100 km kõrgusel on rõhk miljon korda väiksem kui merepinnal. Maa tehiskaaslaste pidurdumise järgi on Maa atmosfääri ülemised kihid 1800 km kõrgusel. Siin ning edasi kuni Maa mõnekordse raadiuse kauguseni eksisteerib ainult hõrendatud vesinik, mis moodustab Maa krooni. Selle tihedus on sadakond aatomit kuupsentimeetri kohta.

Gaaside teooriast te teate, et mida kõrgem on gaasi temperatuur, seda rohkem on gaasis kiireid molekule. Alati on olemas molekule, mille kiirus on suurem kui paraboolne kiirus planeedi pinna suhtes. Sellised molekulid lendavad atmosfäärist igaveseks minema. Järelejäanud molekulides toimub kiiruste ümberjagunemine ning uuesti lendab osa molekule minema. Nii hajub atmosfäär pidevalt oma ülemiste kihtide kaudu. Hajumine on seda kiirem, mida kõrgem on temperatuur ning mida väiksem on raskuskiirendus planeedil. Viimane võib nõrgendada või kompenseerida gaasi lahkumist planeedilt. Maad atmosfääri kaotamine ei ähvarda, sest Maa külgetõmme on küllalt tugev. Kuu ja teised Päikesesüsteemi väikesed kehad kaotasid oma atmosfäärid juba oma eksisteerimise algperioodil. Suurel hulgal on vesinikku kaotanud ka Maa.

Maa atmosfääri ülakihtides põhjustab päikesekiirgus tugevat ionisatsiooni. Seda atmosfääri osa nimetatakse seepärast *ionosfääriks*.

3. Maa. Magnetväli. Maa magnetvälja tugevus on ligikaudu 0,5 Oe. Seepärast saame kasutada kompassi, mis pole võimalik mitte igal planeedil. Kauguse suurenedes Maast magnetvälja tugevus väheneb. Magnetväljal on väga suur mõju ümber Maa liikuvatele elektriliselt laetud osakestele. Magnetväljas liiguvad



49. Maa radiatsioonivöö (magnetosfääri) skemaatiline läbilõige.

sellised osakesed mööda spiraali, mille teljeks on magnetvälja jõujoon.

Pärast 1958. aastat selgitati, et Maa magnetväli hoiab kinni elektrone ja prootoneid (vesiniku tuumad), mis on kontsentreerunud Maa ümber ning moodustavad selliselt radiatsioonivöö. Seda vööd nimetatakse ka suure energiaga osakeste vööks. Joonisel 49 on toodud skemaatiliselt selle vöö lõige (värvuse aste näitab osakeste kontsentratsiooni suurust). Vöö sisemine osa asub Maast 500—5000 km kaugusel. Põhiliselt koosneb vöö prootonitest, mis on tekkinud atmosfääri pommitamisel kosmiliste kiirtega saadud neutronite lagunemisel. Radiatsioonivöö on kosmonautidele hädahohtlik, sest osakeste põrkamisel vastu kosmoselaeva tekib röntgenikiirgus, mis läbib laeva seina. Sellega tuleb arvestada mehitatud kosmoselaevade väljasaatmisel.

Radiatsioonivöö välimine osa asub 1—5 Maa raadiuse kaugusel ning koosneb põhiliselt elektronidest energiaga kümned tuhanded elektronvoltid. Seega on nende osakeste energia 10 korda väiksem vöö sisemist osa moodustavate osakeste energiast. Need osakesed on Maa magnetväli kinni pidanud «päikesetuulest» — Päikeselt pidevalt väljapaisatavast korpuskulaarsest (ladinakeelsest sõnast *corpusculum* — osake) voost.

Kuumade gaaside pursked Päikesel tekitavad aga eelmärgitust palju võimsamaid korpuskulaarseid vooge. Selline voog liigub kiirusega $400\text{--}1000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ ning jõuab Maani ligikaudu 1—2 päeva pärast tekkimist Päikesel. Maani jõudnud suure võimsusega korpuskulaarne voog põhjustab häireid Maa magnetväljas. Magnetvälja iseloomustavad suurused muutuvad kiiresti ja tugevasti — tekivad magnetilised tormid. Kompassinõel hakkab kõikumama. Häired magnetväljas segavad raadiosidet ning põhjustavad virmaliste tekkimist (joon. 50).

Mitmesuguse kuju ja värvusega virmalised tekivad 80—100 km kõrgusel. Mõnikord on nad nählavad isegi väikestel geograafilistel laiustel — näiteks Põhja-Aafrikas. Plasma, s. o. Päikese

korpuskulaarsesse voogu mittekuuluv ioniseeritud gaas, haaratakse magnetvälja poolt ning saab radiatsioonivöö täienduseks. Maa pooluste piirkonnas ja suures kõrguses on tingimused gaasi kaasahaaramiseks halvad ning seepärast on seal suure energiaga osakesi vähe.

Polaarpiirkondades satuvad piki magnetvälja jõujooni liikuvad osakesed, mida magnetväli on juba kinni pidanud, atmosfääri. Nad pommitavad õhumoiekule, ioniseerivad neid ning tekitavad helenduse, mis on analoogiline elektronide voo poolt hõrendustorus tekitatava helendusega. Juba M. Lomonossoviilt on pärit geniaalne oletus virmaliste elektrilise olemuse kohta.

Virmaliste värvus on tingitud atmosfääri gaaside helendusest, virmaliste spektris on mitmesugused heledad jooned. Kõige sagedamini esinevad spektrites atomaarse hapniku jooned. Atomaarset hapnikku on nimelt atmosfääri ülemistes kihtides rohkem kui teisi gaase. Need jooned, punane ja roheline, muudavad oma intensiivsust ning sellega koos ka virmaliste värvust. Nad on vaadeldavad ka öise taeva helenduses, sest alati, olgugi nõrgalt, põhjustavad osakesed kosmosest Maa atmosfääri ioniseerimise. See ongi öise taeva helendumise põhjus. Taevas ei ole kusagil ega kunagi täiesti must. Taeva foonil pildistades saame fotodel 22.—23. suu-



50. Virmalised.

rusjärgu tähti. See on aga piiriks. Veel nõrgemaid tähti on võimalik fotografeerida ainult väljaspool atmosfääri asuvatelt auto-maatjaamadelt.

Nägime, et Maal ja selle atmosfääris toimuvad väga mitmesugused protsessid. Paljud neist on seotud Päikesega, mis asub meist 150 milj. km kaugusel, ning veel kaugemate universumi osadega. Sellised praktilised küsimused, nagu raadioside, kompassi kasutamine, kosmonautika ja teised, on seotud astronoomiaga.

Kui Maa oleks igavesti olnud kaetud pilvedega, siis me poleks näinud tähistaevast, poleks tegelnud astronoomiaga. Veel kaua poleks mõistetud seda, et peale maise maailma eksisteerib lõpmatu universum.

17. PLANEEDID MERKUUR, VEENUS JA MARSS.

1. Päikeselähedased planeedid. Merkuur, Päikesele kõige lähem planeet, on Kuust veidi suurem, tema keskmine tihedus on aga peaaegu niisama suur kui Maal. Faaside muutmine ning lähedus Päikesele teeb selle planeedi pinna raskesti uuritavaks. Kaasaegsete raadiovaatlustega tehti kindlaks Merkuuri äärmiselt aeglane pöörlemine. Päikeseööpäev Merkuuril kestab ligikaudu 176 maapealset ööpäeva. Samal ajal on Merkuuri aasta, s. o. tema täistiiru tegemise aeg, 88 maapealset ööpäeva — seega rohkem kui 2 korda lühem. Nii möödub Merkuuril ühe ööpäevaga peaaegu kaks aastat (muidugi Merkuuri oma)!

Rida tähelepanekuid räägib atmosfääri olemasolu võimalikkusest Merkuuril. See saab aga olla tuhandeid kordi hõredam kui Maal. Seepärast kuumeneb Päikese poole pööratud poolkera tugevasti. Punktis, kus Merkuuril paistab Päike seniidis, mõõdeti temperatuuriks 327°C. Näiteks plii sellise temperatuuri juures juba sulab.

Veenus äratas juba vanasti erilist tähelepanu seepärast, et ta oma massi ja ruumala poolest on ainult veidi väiksem Maast. Juba Lomonossov ja tema kaaslased tegid kindlaks atmosfääri olemasolu Veenusel. Lomonossov oletas õigesti, et see on Maa atmosfäärist tihedam. Hilisemad spektraalanalüüsid tegid kindlaks, et Veenuse atmosfääris on suurel hulgal süsihappegaasi. Veenuse pinna iseloomu ning pöörlemisperioodi ei õnnestunud optiliste vaatluste abil määrata, sest Veenus on ümbritsetud valgete lauspilvedega. Planeedi pilvekihi pealse temperatuuri mõõtmisel saadi tulemuseks —40°C nii Päikese poole kui ka viimasest eemale pööratud poolkeral.

Raadiovaatlused andsid kaks ootamatut fakti. Ilmnes, et Veenus pöörleb ümber oma telje vastupidiselt kõigile teistele planeetidele (välja arvatud Uraan) ja suunale, millega ta ise tiirleb

ümber Päikese. 1967. a. vaatluste andmetel moodustab Veenuse päikeseööpäev 118 Maa ööpäeva. Veenuse telg on orbiidi tasapinna suhtes peaaegu risti. Seepärast ei esine Veenusel aastaegade vaheldumist, küll aga on seal alati ja igal pool väga kuum. 1967. aastast kuni tänaseni on Veenuse atmosfääri laskunud kolm Nõukogude automaatjaama. Need olid maailma esimesed automaatjaamade sujuvad laskumised teise planeedi pinnale koos informatsiooni edasiandmisega Maale raadiosaatjate abil. Selgus, et 95% Veenuse atmosfäärist moodustab süsihappegaas. Lämmastikku ja väärisgaase on Veenuse atmosfääris mõni protsent, hapnikku aga väga vähe. Rõhk atmosfääris suurenes jaamade laskumisel ning viis need 10–20 km kõrgusel planeedi pinnast 15–30 atmosfääri suuruse rõhu juures rivist välja. Madalamal peaks rõhk olema veel mitu korda suurem. Temperatuur tõusis kuni 400°C, mis kinnitas Veenuse raadiovaatlusel saadud tulemusi. Selliste tingimuste juures on elu Veenusel nagu Merkuurilgi vähe tõenäone. Varem Veenusest möödalenanud automaatjaamade abil tehti kindlaks magnetvälja ja radiatsioonivõondite puudumine Veenusel.

2. Marss. Suuruselt on Marss Maa ja Kuu vahepealne. Marsi diameeter on Maa läbimõõdust kaks korda lühem. Marsi orbiidi ekstsentrilisus on aga küllalt suur. Viimasest on tingitud järgmine. Kui Marsi vastasseis toimub afeeli lähedal, on tema nurkdiameeter 14" ning oma heleduselt ei erine planeet ümbritsevatest tähtedest. Kui aga Marsi vastasseis toimub periheeli lähedal, on tema nurkdiameeter 25" ning oma heleduselt jääb ta maha ainult Veenusest. Sellised nn. suured vastasseisud korduvad iga 15–17 aasta järel. Suurte vastasseisude ajal on tehtud Marsi kohta kõige rohkem avastusi.

Marsi aasta on peaaegu kaks korda pikem kui Maa aasta. Marsil esineb aastaegade vaheldumine, sest tema telje kalle on analoogiline Maa telje kaldega. Marss on aga Päikesest 1,5 korda kaugemal kui Maa ja saab Päikeselt seepärast enam kui kaks korda vähem soojust kui Maa. Marsi oranžitoonilisel pinnal on nähtavad küllalt püsivate piirjoontega tumedad laigud (vt. Marsi värvilist joonist õpiku eeslehel). Laikude nähtava nihkumise järgi tehti kindlaks Marsi päikeseööpäeva pikkus. See on 24 tundi 44 minutit.

Tumedaid laiike nimetati kunagi tinglikult meredeks, lahtedeks, järvedeks. On koostatud Marsil asuvate tumedate laikude kaardid. Tõenäoliselt on need madalamad piirkonnad, kuid Marsi väga hõreda atmosfääri tingimustes ei saa nad olla veega kaetud. Vesi võib Marsil esineda kas auruna või jääna. Oranžid pinnad — mandrid — peegeldavad valgust nagu liiv, punane liivakivi või nagu rauda sisaldav limoniit.

Tumedate laikude piirjoon Marsil muutub aastate jooksul ja ka suve ning talve vaheldumisega. Tunduvalt kergemini kui tume-

daid laike võib Marsil näha (juba väikese teleskoobiga) suuri valgeid polaarmütsikesi planeedi poolustel. Suvel polaarmütsikesed vähenevad ning sageli kaovad (vt. värvilist joonist õpiku eeslehel). Juba 1909. a. näitas G. Tihhov, et polaarmütsikesed peegeldavad valgust sarnaselt lume ja jääga ning tõenäoliselt koosnevadki nendest. Peale selle asetsevad polaarmütsikeste kohal pidevalt hõredad valged pilved. Teiste piirkondade kohal tekivad isegi ülihõredad pilved äärmiselt harva. Juba see räägib väga vähesest veehulgast Marsi atmosfääris. Alles 1963. a. läks korda kindlaks teha, et kogu veeauru veeks muutumisel kataks vesi Marsi pinna ainult 14 μm paksuse kihina. Hapnikku on Marsi atmosfääris koguses, mis moodustab 0,001 Maa atmosfääri hapnikust. Marsi atmosfääris domineerib nagu Veenuselgi süsihappegaas. Rõhk Marsi atmosfääris moodustab ainult umbes 0,01 Maa atmosfääri rõhust. Seega on Marsi atmosfäär erakordselt hõre ja kuiv.

Karmid on Marsil ka temperatuuriolud. Keskpäeval tõuseb temperatuur ekvaatori piirkonnas 10—25 °C, õhtuks langeb allapoole nulli ning on hommikuks ligikaudu —60 °C. Selline temperatuuri ööpäevane kõikumine on võrreldamatult järsum kui Maal hõreda õhuga kõrgetel kiltmaadel.

Sagedamini kui valgeid pilvi on võimalik Marsil jälgida kollaseid pilvi. Tõenäoliselt koosnevad need liivast või tolmust, mida keerutavad üles tormid. Seda muidugi siis, kui oranžid mandrid on tõepoolest kõrbed.

Palju mõistatuslikumad on merede tumedad laigud oma detailide vähepüsivate piirjoontega. Kõige sagedamini loetakse neid madalikeks, kus on rohkem niiskust ning kus seepärast eksisteerib taimkate, tõenäoliselt alamates vormides. Selle oletuse kasuks räägivad järgmised faktid. Kevadel, vastu suve, polaarmütsikeste mөөtmed vähenevad ning nad on ümbritsetud tumeda äärisega, seejärel levib tumenemise laine mütsikestelt ekvaatori poole. Seda võib seletada järgmiselt. Lume sulamisel poolustel tekib vesi, mis voolab ekvaatori suunas. Niiskuse ja suvise soojuse mõjul ärkavad ellu taimed. Samasugune tumenemine võib aga tekkida ka mingite ainete, näiteks vulkaanilise tuha niiskumisel.

1964. a. lendas Marsi lähedalt mööda üks ja 1969. a. kaks USA planeetidevahelist automaatjaama. Need andsid Maale umbes 200 suure- ja väikesemastaabilist fotot Marsist. Ulde saadi fotod planeedi pinna mõne protsendi suurusest osast. Avastati, et Marss on kaetud arvukate kraatermägedega (joon. 51), mida siiani tunti ainult Kuul ning mida te juba ise olete teleskoobiga vaadelnud. Ilmselt on sellised kraatrid iseloomulikud kõigile Maast väiksematele planeetidele, kus on kas väga hõre atmosfäär või pole seda üldse. Kraatrid Marsil on laugemad kui Kuul. Mida kujutavad endast peenikesed jooned, mida teadlased on kandnud Marsi kaartidele ning mida tinglikult nimetatakse kanaliteks, sellele saadud fotod



51. Kraatrid 200×200 km suurusel Marsi pinnal. Need on pildistatud planeetidevahelise automaatjaama «Mariner-4» poolt 1965. a.

vastust ei anna. Muidugi ei ole need kunstlikud moodustised. Nende laius on sada ja isegi rohkem kilomeetrit.

Magnetvälja ja radiatsioonivööndi olemasolu Marsil ei täheldatud.

Kokkuvõtteks võib märkida, et tingimused Marsil on väga karmid, kuid lähtudes elu suurest kohanemisvõimest, võib selle lihtsamate vormide eksisteerimine Marsil olla võimalik.

- ▶ 1. Mis oleks hõlpsam, kas Maa pinna vaatlemine Marsilt või Marsi pinna vaatlemine Maalt?
- 2. Kui suur on väikseim detail, mida Maalt saab Marsil vaadelda vastasseisu ajal (55 milj. km), kui maapealne vaatleja suudab kuul eraldada 1 km suurust detaili?

18. HIIDPLANEEDID.

Neljast hiidplaneedist on kõige rohkem uuritud Jupiteri, kõige suuremat ja Päikesele kõige lähemat hiidplaneeti. Planeedi diameeter on 11 korda pikem Maa diameetrist, mass aga 300 korda suurem Maa massist. Ümber Päikese tiirlemise periood on

Jupiteril 12 aastat, kaugus Päikesest aga 5,2 astronoomilist ühikut. Jupiteri pöörlemistelg on peaaegu risti tema orbiidi tasapinnaga, seepärast ei esine seal ka mingit aastaaegade vaheldumist. Kõik hiidplaneedid pöörlevad võrdlemisi kiiresti ümber oma telje. Nende tihedus on väike. Selle tulemusena on nad küllalt lapikud. Jupiteri lapikus on $\frac{1}{16}$ ning seda võib teleskoobis kohe näha.

Saturni lapikus on veel suurem, nimelt $\frac{1}{10}$, kuid märgatav on see ainult siis, kui Maa asub planeedi ekvaatori tasapinnal.

Kõik hiidplaneedid on ümbritsetud võimsate ja ulatuslike atmosfääridega. Me näeme nendel ainult ekvaatoriga paralleelseid pilvevööndeid. Tumedad pilved on nähtavasti heledatest kõrgemad ning on kõige selgemini nähtavad Jupiteril, isegi nõrga teleskoobiga (vt. värvilist joonist õpiku eeslehel). Mingeid püsivaid detaile Jupiteril pole, peale juba kolm sajandit tuttava mõistatusliku punase laigu, millel sada aastat tagasi oli punane värvus. Jupiter pöörleb ümber oma telje vööndite kaupa. Mida lähemal on vöönd poolusele, seda aeglasemalt ta pöörleb. Ekvaatoril on planeedi pöörlemisperiood 9 tundi 50 minutit, punase laigu piirkonnas on see aga 5 minutit 11 sekundit pikem. Saturni ekvaatoril on pöörlemisperiood 10 tundi 14 minutit, Uraanil 10 tundi 49 minutit, Neptuunil ligikaudu 16 tundi.

Kuna hiidplaneedid on Päikesest väga kaugel, siis on seal temperatuur (nende pilvekatte peal) eriti madal — Jupiteril -145°C , Saturnil on temperatuur -180°C , Uraanil ja Neptuunil veelgi madalam.

Spektraalanalüüs näitab, et hiidplaneetide atmosfäär koosneb põhiliselt molekulaarsest vesinikust ja metaanist CH_4 . Jupiteri atmosfääris esineb veel ammoniaak NH_3 . NH_3 joonte puudumist kaugemate planeetide spektrites seletatakse nimetatud gaasi külmunud olekuga seal. Madalal temperatuuril ammoniaak kondenseerub ning sellest nähtavasti koosnevadki Jupiteri tumedad vööndid.

Teoreetiliselt konstrueeritud hiidplaneetide mudelite järgi koosnevad planeedid vesinikust ja heeliumist, mis tohutu rõhu tõttu on tahkes olekus. Seejuures võib temperatuur nende sisemuses küündida ikkagi mitme tuhande kraadini. Gaasilise atmosfääri tihedus selle alakihetides on $0,1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$. Hiidplaneetide keskmine tihedus on väike võib-olla seepärast, et me hindame nende ruumala silma järgi läbi ulatusliku läbipaistmatu atmosfääri. Jupiteri keskmine tihedus on $1,3 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$, Uraanil $1,6 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$, Neptuunil $2,3 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$. Saturnil aga isegi $0,7 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$, s. o. väiksem kui vee tihedus. Väike

tihedus ja vesiniku küllus eraldavad hiidplaneete teistest planeetidest.

Jupiteri punane laik võib olla kergest ainest tahke saar, mis ujub kokkusurutud vesinikus.

Kõrvuti pideva nõrga raadiokiirgusega saadab Jupiter välja mitmesuguse tugevusega raadiokiirguse purskeid. Selgub, et need on pärit tavaliselt planeedi kahest piirkonnast.

Raadiokiirguse põhjuseks võivad olla võimsad äikesetaolised lahendused, osakeste pärssimine Jupiteri magnetväljas või elektronide ja ionide võnkumine planeedi atmosfääri plasmas. Saturnil on märgatud ainult nõrka rahulikku raadiokiirgust.

Ainulaadseks oma olemuselt on Päikesesüsteemis Saturni ümbritsev mõne kilomeetri paksune rõngas (vt. värvilist joonist õpiku eeslehel). Ta asetseb planeedi ekvaatori tasapinnal, mis on orbiidi tasapinnaga 27° nurga all. Seepärast on rõngas Saturni 30 aastat kestva täistiiru ajal vaadeldav kord küllalt ovaalse kettana, kord küljelt täiesti peenikese joonena, ja seda ainult suurtes teleskoopides (joon. 52). Rõngas on nii lai, et juhul, kui ta oleks pidev, võiks sellel veereda meie Maa.

Et kinnitada teoreetilist järeldust, mille põhjal Saturni pidev rõngas oleks ebapüsiv ning et see tegelikult koosneb arvutust hulgast väikestest osakestest, uuris vene teadlane A. Belopolski Saturni rõnga spektrit. Spektrist selgus, et rõnga sisemised osad tiirlevad vastavalt Kepleri III seadusele kiiremini kui välimised. Osakeste mõõtmed on nähtavasti ühest sentimeetrist kuni ühe meetrini. Rõngas esinevad tühjad vahemikrõngad, seepärast räägitakse mõnikord Saturni rõngastest. Vahemikud rõngas

1966



1968



1970



1972



1974



1976



1978

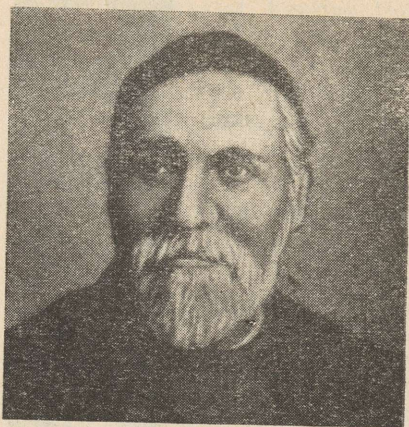


1980



1982





A. Belopolski (1854—1934).

asuvad seal, kus rõnga osakeste liikumine oli ebapüsiv Saturni suurte kaaslaste poolt põhjustatud häirete tõttu. Rõngas on kas loodete poolt planeedile liiga lähedale tulnud kaaslaste purustamise tulemus või siis aine jäänused, millest tekkisid kaaslaste. See aine oli aga Saturnile nii lähedal, et tugevate loodete tõttu polnud võimalik selle kogunemine üheks kehaks.

Ülejäänud informatsioonist planeetide kohta väärivad esiletõstmist fakt Uraani pöörlemisest ümber oma telje suunas, mis on vastupidine kõikide teiste planeetide, välja arvatud Veenus, pöörlemissuundadele. Pöörlemistelg moodustab seejuures orbiidi tasapinnaga ainult 8° nurga. Seega pöörleb planeet nagu küljeli lamas. Selle tulemuseks on aastaegade väga järsk vaheldumine. Aasta kestab Uraanil 84 Maa aastat. *Uraan ja Veenus on ainukesed planeedid, mis pöörlevad kõikidele ülejäänud planeetidele vastassuunas.*

19. KUU JA PLANEETIDE KAASLASTE LIIKUMINE. VARJUTUSED.

1. Planeetide kaaslaste ja Kuu. Merkuuril ja Veenusel kaaslasti ei ole. Ülejäänud planeetidel, Maa välja arvatud, on kaaslaste planeetidest endist mõõtmata väiksemad. Maal on ainult üks looduslik kaaslane — Kuu, kuid planeedi endaga võrreldes on ta erakordselt suur. Kuu diameeter on Maa diameetrist ainult 4 korda lühem. Kõige rohkem kaaslasti, nimelt 12, on suurimal planeedil — Jupiteril. Massilt järgmisel planeedil, Saturnil, on neid 10. Neist viimane avastati alles 1966. a. Uraanil on 5 kaaslast, Neptuunil ja Marsil 2. Kõige suuremad kaaslaste on Titanus Saturnil ja Ganymedes (Jupiteri kolmas kaaslane). Nende diameetrid on 1,5 korda pikemad Kuu diameetrist ning veidi suuremad Merkuuri

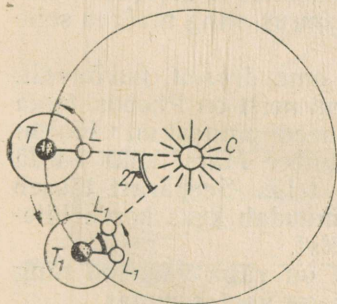
diameetrist. Titanus on ainuke planeedi kaaslane, millel on atmosfäär (koosneb metaanist).

Tähe- ehk sideeriline kuu on Kuu tiirlemisperiood ümber Maa tähtede suhtes; sünoodiline kuu on aga Kuu tiirlemisperiood ümber Maa Päikese suhtes. Sünoodiline kuu on ajavahemik Kuu kahe teineteisele järgneva ühesuguse faasi vahel. Tähekuu pikkus on 27,3 ööpäeva. Sünoodilise kuu pikkus on 29,5 ööpäeva.

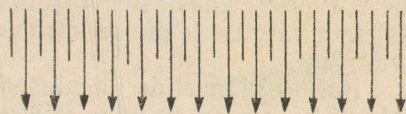
Kõik kaaslased, mille pöörlemine ümber telje on õnnestunud kindlaks teha, sealhulgas ka Kuu, on alati pööratud oma planeedi poole ühe ja sama küljega. Seepärast on nende sideerilised perioodid võrdsed planeedi ümber tiirlemise perioodidega ja seetõttu ei saa üheltki planeedilt vaadelda kaaslaste tagakülge. Päikese suhtes on kaaslaste pöörlemisperioodid pikemad kui tähtede suhtes, kuna kaaslaste pöörlemise ajal läbib planeet koos kaaslasega veel mingi lõigu oma orbiidil ümber Päikese.

Kuu läbib ööpäevaga oma orbiidil $360^\circ : 27,3 \approx 13^\circ$, 27,3 ööpäevaga läbib Maa koos Kuuga oma orbiidil Päikese suhtes umbes 27° kaare. Kuul läheb järelikult veel vaja ligikaudu $27 : 13 \approx 2$ ööpäeva, et jõuda Maa ja Päikese suhtes endisesse asendisse (joon. 53). Nii juhtubki, et sünoodiline kuu ehk Kuu ööpäev on ligikaudu 29,5 meie maapealset ööpäeva. Järelikult on Kuul nii päev kui ka öö võrdsed meie kahe nädalaga.

Kuu faaside vaheldumist kujutab joonisel 54 toodud skeem. Kui Kuu paistab meile kitsa sirbina, siis on tema ülejäänud ketas samuti nõrgalt valgustatud. Seda nähtust nimetatakse t u h k v a l g u s e k s ning see seletub Maalt Kuu öisele küljele peegelduva päikesevalgusega.



53. Tähekuu ja sünoodilise kuu erinevus.



54. Kuu faaside vaheldumise skeem (päikesekiired langevad ülalt joonise tasapinnas).

4 2 ● 1 3

25. nov. 1945. a.

4 2 1 ● 3

26. nov. 1945. a.

4 ● 1 3 2

27. nov. 1945. a.

55. Jupiteri nelja peamise kaaslaste asendite muutumine.

On kerge mõista, et Maa ja Kuu faasid on vastupidised. Kui Kuu paistab Maal peaaegu täiskettana, on Maa Kuult nähtav kitsa sirbina. Joonisel 30 on toodud foto Kuu horisondist koos selle kohal asuva Maaga, millest on muidugi näha ainult Päikese poolt valgustatud osa. See foto on tehtud Kuu tehiskaaslaselt. **Kuu elliptilise orbiidi Maale kõige lähemat punkti nimetatakse perigeeks, kõige kaugemat punkti aga apogeeks.**

Pöördudes tagasi planeetide kaaslaste juurde, märgime, et Jupiteri nelja suuremat kaaslast võib vaadelda ka prismabinokliga. Teleskoobis võib aga mõne tunniga jälgida kaaslaste märgatavat nihkumist. Mõnikord liiguvad need Maa ja Jupiteri vahele, mõnikord kaovad Jupiteri taha või tema varju (joon. 55). Vaadeldes neid Jupiteri kaaslaste varjutusi, tegi Römer XVII sajandil kindlaks, et valguse levimise kiirus on lõplik suurus, ning määras selle väärtuse.

Paljud planeetide kaaslasted liiguvad omapäraselt, huvitavalt. Marsi kaaslasted on väga väikesed. Suurem neist on Phobos, tema diameeter on 16 km. Kaaslaste kaugus planeedi pinnast on väiksem kui planeedi diameeter. Phobos tiirleb ümber Marsi kaks korda kiiremini planeedi pöörlemisest ümber telje. Seepärast tõuseb Phobos kaks korda ööpäevas läänest ja muudab kaks korda täielikult oma faase, tormates mööda taevavõlvi.

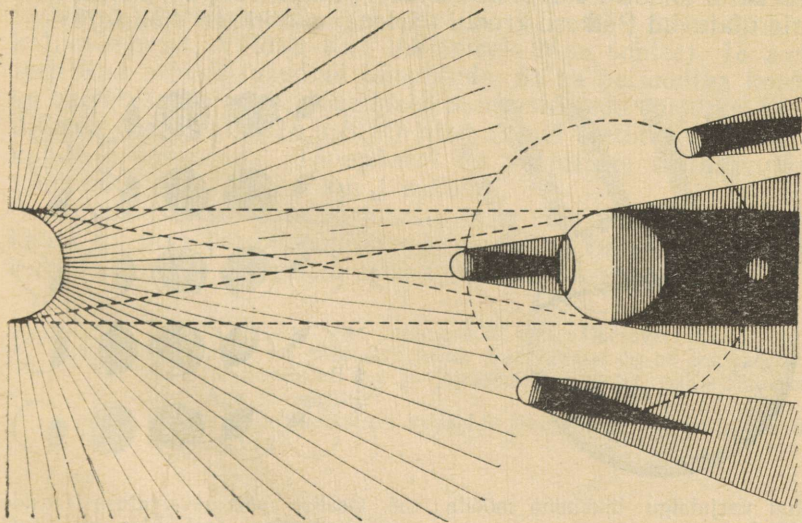
Jupiteri ja Saturni kauged kaaslasted on väga väikesed ning mõned neist tiirlevad planeedi pöörlemisega vastassuunas.

Kõik 5 Uraani kaaslast tiirlevad vastassuunas ning nende orbiidid on nagu planeedi ekvaatorgi peaaegu risti Uraani orbiidi tasapinnaga.

- ▶ 1. Kuusirp on kumerusega paremale ning lähedal horisondile. Millisesse horisondi suunda te vaatate?
- 2. Täna kulmineeris Kuu lõunas keskööl. Millal on Kuu kulminatsioon homme?

2. Päikese- ja kuuvarjutused. Päikese poolt valgustatud Maa ja Kuu taha jäävad täis- ja poolvarju koonused (esimene neist on koonduv, teine laienev varjukoonus). Need varjukoonused on toodud joonisel 56. Kui Kuu satub täielikult või osaliselt Maa varjukoonusesse, toimub kas täielik või osaline kuuvarjutus. Maalt on kuuvarjutus näha kõikjalt, kus Kuu antud momendil on horisondi peal. Kuu täisvarjutuse faas võib kesta kuni 1 tund 40 min., sest Maa varjukoonus Kuu kaugusel on tunduvalt laiem Kuu diameetrist. Maa atmosfääris murduvad päikesekiired satuvad Maa varjukoonusesse. Seejuures atmosfäär neelab tugevasti helesini-seid ja nendele lähedasi kiiri (tuletage meelde spektrit), laseb aga varjukoonusesse eelkõige punaseid kiiri, mida neelatakse kõige halvemini. Seepärast värvubki Kuu varjutuse suurte faaside ajal punaseks, kuid jääb siiski nähtavaks. Vanasti peeti kuuvarjutusi hirmsateks ettekuulutajateks, räägiti, et «kuu on verre kastetud». Kuuvarjutused toimuvad kuni kolm korda aastas ning peaaegu pooleaastaste vaheaegadega. Muidugi toimuvad kuuvarjutused ainult täiskuu ajal.

Päikesevarjutus on täielikult nähtav ainult seal, kus Maale langeb Kuu täisvari. Varju diameeter maapinnal ei ole üle 250 km ning seepärast **täielik päikesevarjutus on üheaegselt nähtav ainult kitsal maaribal**. Kui Kuu liigub mööda oma orbiiti, siis tema vari libiseb mööda maapinda läänest itta, joonistades välja täieliku päikesevarjutuse kitsa vööndi (joon. 57). Täielik varjutus kestab kõige rohkem 7 minutit 40 sekundit.



56. Kuu- ja päikesevarjutuste skeem.

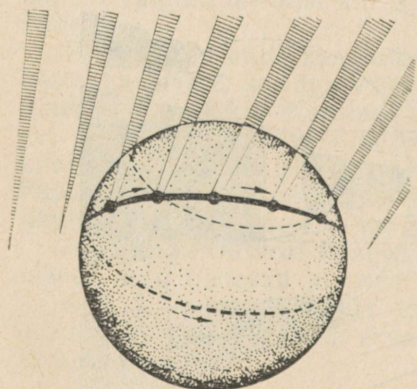
Seal, kus Maale langeb Kuu poolvari, on nähtav osaline päikesevarjutus (joon. 58). Seoses sellega, et Maa kaugus Kuust ja Päikesest ajaga veidi muutub, on Kuu nurkdiameeter kord suurem, kord väiksem, kord võrdne Päikesega nurkdiameetriga.

Esimesel juhul kestab täielik päikesevarjutus mõnda aega (mitte rohkem kui 7 minutit 40 sekundit), kolmandal ainult ühe hetke, teisel juhul aga Kuu ei kata üldse tervenisti Päikest ning nähtav on rõngakujuline päikesevarjutus. Siis on Kuu tumeda ketta ümber näha helenduv päikeseketta riba.

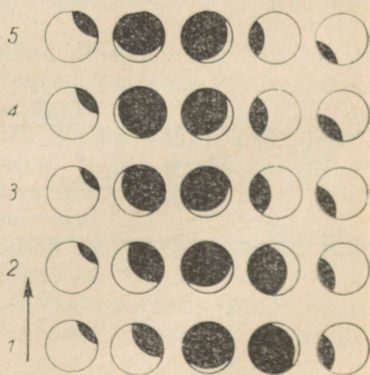
Maa ja Kuu liikumise täpse tundmise alusel on sadadeks aastateks ette arvatud varjutuste ajad ning kohad, kus need ühel või teisel kujul (täielikult, osaliselt) on nähtavad. On koostatud kaardid, kus on näidatud täieliku varjutuse nähtavuse vöönd ning jooned, mis vastavad varjutuse mingile kindlale faasile. Kaartidel on samuti jooned, mille suhtes igas maakohas võib kindlaks määrata varjutuse alguse, lõpp- ning keskmomendi. Aastas võib Maal esineda kaks kuni viis päikesevarjutust, viimasel juhul on need tingimata osalised. Varjutused toimuvad noorkuu (kuuloomise) ajal. Uhes ja samas maakohas on täielik päikesevarjutus nähtav iga 200—300 aasta tagant.

Erilist teaduslikku huvi pakuvad täielikud päikesevarjutused.

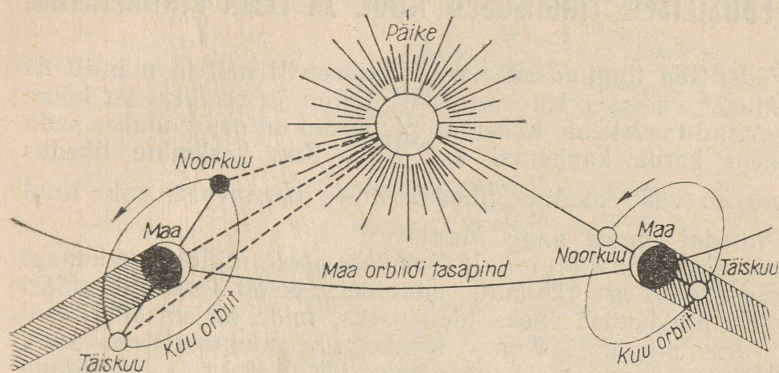
Astronoomid korraldavad ekspeditsioone täieliku varjutuse piirkonda, et sekundeid, harva minuteid kestva täisvarjutuse ajal uurida Päikesega hõredat ümbrust, mida saab vahetult teha ainult varjutuse ajal. Täieliku päikesevarjutuse ajal taevastumeneb, piki horisonti kumab koiduvalgus — maakohtades, kus varjutus on osaline, päikesekiirte mõjul atmosfäär helendub. Ümber tumeda päikeseketta loidab Päikesega atmosfääri punane rõngas, sellest kaugemale ulatuvad Päikesega krooni pärleuvad kiired (joon. 78).



57. Kuu varjulaigu liikumine mööda Maad.



58. Osalise päikesevarjutuse faaside muutumine (alt üles ja reast ritta).



59. Kuu orbiit. Parempoolses asendis on varjutused võimalikud, vasakpoolses mitte.

Kui Kuu orbiidi tasapind ühtiks ekliptika tasapinnaga, siis oleks iga noorkuu ajal päikesevarjutus ja iga täiskuu ajal kuuvarjutus. Kuu orbiidi tasapind moodustab aga ekliptika tasapinnaga nurga $5^{\circ}9'$. Seepärast Kuu harilikult läbib ekliptika põhja- või lõunapoolse pinna ning varjutust ei toimu (joon. 59). Ainult kahel korral aastas (nende vahe on peaaegu pool aastat), kui täiskuu ja noorkuu esinevad ekliptika tasapinna lähedal, on võimalikud varjutused.

Olukord muutub keerulisemaks veel seetõttu, et Kuu orbiidi tasapind pöörleb ruumis (see on üks häiretest, mida Päike oma külgetõmbega avaldab Kuu liikumisele Maa suhtes). 18 aastaga teeb Kuu orbiidi tasapind täispöörde. Sama perioodiga korduvad ka varjutused. Vanaaja õpetlased märkasid seda varjutuste perioodilisust (perioodiga 18 aastat) ning võisid seetõttu varjutusi ligikaudselt ennustada. Tänapäeval on varjutuste väljaarvutamiste võimalik viga väiksem kui 1 sekund.

Andmed eelseisvate varjutuste ja nende nähtavuse tingimuste kohta tuuakse astronoomilistes kalendrites, näiteks «Tartu Tähetorni kalendis» ja teistes astronoomilistes teatmeteostes.

- ▶ 1. Eile oli täiskuu. Kas homme võib olla päikesevarjutus?
- 2. Ülehommel on päikesevarjutus. Kas tänane öö on kuuvalge?
- 3. Kas 15. novembril on põhjapoolusel võimalik näha päikesevarjutust? Aga 15. aprillil?
- 4. Kas saab põhjapoolusel vaadelda juunis või novembris toimuvaid kuuvarjutusi?

20. FÜÜSILISED TINGIMUSED KUUL JA TEMA PINNAEHITUS.

1. **Füüsilised tingimused Kuul.** Diameetrilt neli ja massilt 81 korda Maast väiksem Kuu on meile lähim ja seetõttu ka kõige enam uuritud taevakeha. Lähemad planeedid on meist umbes sada ja rohkem korda kaugemal kui Kuu. Kuu keskmine tihedus ($3,3 \frac{g}{cm^3}$) on väiksem Maa tihedusest — arvatavasti pole Kuul taolist tihedat tuuma nagu Maal.

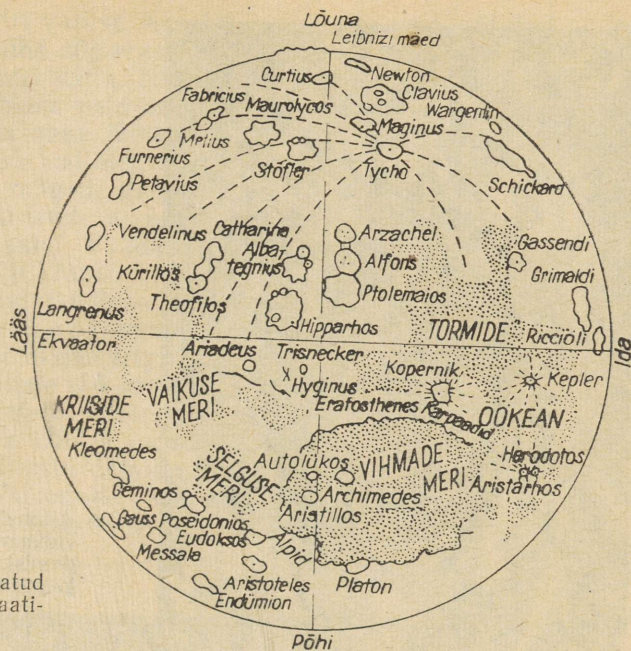
Maalt näeme me alati ainult Kuu ühte poolt, millel pole kunagi märgatud ei pilvi ega vähimatki uduvinet. See oli Kuul atmosfääri ja veeauru puudumise üheks tõenduseks, mida hiljem kinnitasid sujuvalt Kuu pinnale laskunud Nõukogude automaatjaama poolt tehtud otsesed vaatlused. Selle nõukogude teaduse ja inimkonna suursaavutuse tähtsus seisneb mitte ainult inimhõimuse ja tehnika võimaluste piiramatuse tõestamises, vaid ka teiste taevakehade füüsiliste tingimuste otseses uurimises. Saavutus on tähtis ka veel sellepärast, et ta kinnitas enamiku järeldusi, mida tegid astronoomid 384 000 km kaugusel asuvalt Kuult meieni tuleva valguse analüüsi põhjal.

Vee ja õhu puudumise tõttu pole Kuul helisid — ta on vaikuse maailm. Kuul on taevas must ja tähed säravad isegi päeval. Varjud on teravad ja tumedad. Kuul puudub atmosfäär, mis pehmen-daks põletavaid päikesekiiri, ei laseks Kuu pinnale elusorganismidele kahjulikku korpuskulaar- ja röntgenikiirgust, vähendaks öösiti soojuse kiirgumist maailmaruumi ja kaitseks kosmiliste kiirte ning pisimeteoride eest. Astronoomile on aga Kuu ideaal-seks kohaks nende taevakehade uurimisel, millelt tulevaid kiirgusi Maa atmosfäär läbi ei lase.

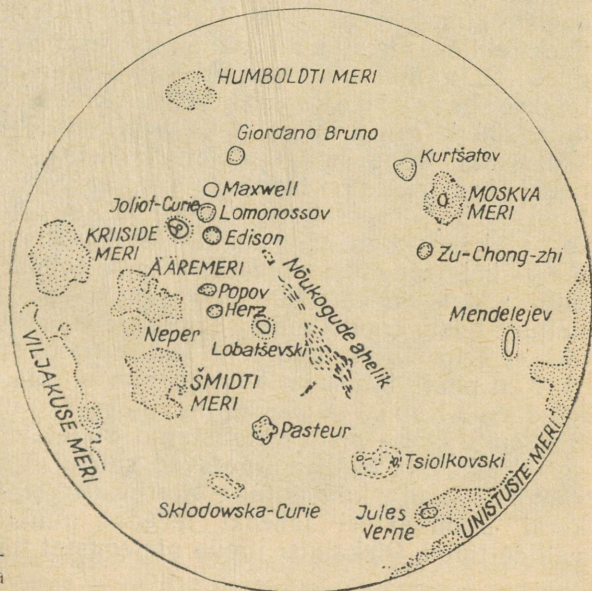
Automaatjaamad tegid kindlaks, et pisimeteoritide lakkamatud Kuu pinda purustavad löögid siluvad ja tasandavad tema pinnaehitust. Peened killud ei lollustu, vaid vaakumi tõttu liituvad kiiresti poorseks šlakitaoliseks kihiks — toimub tolmuosakeste molekulaarne seostumine pimsskiviga sarnanevaks aineks. Poorne struktuur tingib Kuu pinna väikese soojusjuhtivuse, mistõttu, vaatamata välistemperatuuri tugevale kõikumisele, püsib temperatuur Kuu pinnases juba väikesel sügavusel muutumatuna.

Päeva ja öö vaheldumisega kaasnevaid suuri temperatuuri muutusi põhjustab mitte ainult atmosfääri pehmen-dava mõju puudumine, vaid ka öö ja päeva pikkus. Nii öö kui ka päev on pikemad meie kahest nädalast. Kui Kuu päikesepoolsel küljel on temperatuur 120 °C, siis vastaspoolkeral, kus valitseb öö, on temperatuur —170 °C.

2. **Kuu pinnaehitus.** Juba Galilei aegadest peale hakati koostama Kuu nähtava poolkera kaarti. Musti lai ke Kuu pinnal nimetati meredeks (joon. 60 ja 61). Mered on küll madalikud, kuid nendes pole tilkagi veti. Suure osa Kuu pinnast katavad mäed — hele-



60. Maa poole pööratud Kuu pinna skemaatiline kaart.



61. Nõukogude planeetidevahelise jaama fotode põhjal koostatud Kuu tagakülje skemaatiline kaart.



62. Alfonsi tsirk, milles nähti vulkaaniliste gaaside eraldumist. Foto tegi Kuu tehiskaaslane 400 km kõrguselt.

damad alad. Mitmetele mäeahelikele on antud maapealsete mäeahelike nimed, nagu Alpid, Kaukasus jne. Mägede kõrgus ulatub üheksa kilomeetrini, kuid enamik mägesid on mõne kilomeetri kõrgused. Suuri ümaraid tasandikke piiravad rõngasmäed, mida nimetatakse tsirkideks (joon. 62). Tsirkide diameeter võib küündida 200 kilomeetrini, näiteks Schickardi ja Claviuse tsirkidel. Väiksemaid rõngasmägesid nimetatakse kraatriteks. Suurematele kraatritele on teadlaste auks antud nende nimed — nii on Kuul Tycho³, Koperniku jt. kraatrid. Kuu lõunapoolkeral on täiskuu ajal binokliga hästi nähtav 60 km diameetriga Tycho kraater — hele rõngas ja sellest radiaalselt lähtuvad heledad kiired, mille pikkus on võrreldav Kuu raadiusega ja mis kulgevad läbi paljude teiste kraatrite ning tumedate madalike. Fotode abil selgitati, et neid kiiri tekitab suur hulk valgete seintega pisikraatreid.

Kuu pinnaehitust on kõige parem uurida siis, kui vastav piirkond asub Kuu öö ja päeva piirjoone — terminatori lähedal. Siis on Päikese poolt valgustatud küljel väiksematelgi ebatasastel pikad ja hästi märgatavad varjud. Väga huvitav on teleskoobiga jälgida, kuidas tunni aja jooksul süttivad Kuu öisel poolkeral terminaatori lähedal heledad punktid — Kuu kraatrite vallide tipud. Pikkamisi ilmub pimedusest nähtavale hele hobuse-

³ Taani astronoom Brahe, Tycho (1546—1601). — Tõlk.

raud — osa kraatri vallist. Kraater ise on aga veel mähitud pimedusse. Libisedes üha sügavamale, joonistavad päikesekiired vähehaaval kogu kraatri välja. Hästi on näha, et mida väiksemad on kraatrid, seda rohkem neid on. Tihti moodustavad kraatrid ahela või isegi «istuvad» nagu üksteise kukil, s. t. et hilisemad kraatrid tekkisid varasemate vallidel. Sageli paistab kraatri keskel küngas, mis tegelikult on mägede grupp (joon. 63). Kraatri seinad langevad sissepoole järskude astangutena. Põhi on kraatril ümbritsevast alast madalamal. Vaadake tähelepanelikult madallennul pildistatud Koperniku kraatri valli ja keskse künka kuju (joon. 63). Maalt on see kraater nähtav pealtvaates ja üksikud detailid pole eraldatavad. Ka kõige parematel tingimustel on Maalt vaevalt nähtavad kilomeetrise diameetriga kraatrid. Kogu Kuu pind on kaetud lamedate süvenditega ehk kraatritega, mis on tekkinud Kuu pinna «töötlemisel» pisimeteoriitidega.

NSV Liidus ja USA-s loodud Kuu tehiskaaslased pildistasid Kuu maastiku paljusid detaile. Esmakordselt maailmas pildistas 1959. aastal Nõukogude kosmosejaam «Luna-3» Kuu tagakülge, mida Maalt pole keegi kunagi näinud (joon. 61). Sügavaid



63. «Keskne küngas», pigem mägede ahel, Koperniku kraatri keskel koos järsult langevate valli terrassidega. Kraatrit pildistas Kuu tehiskaaslane madallennul justkui seestpoolt. Maalt paistab see kraater samasugusena nagu Alfonsi tsirk.

nõgusid — meresid — on Kuu tagaküljel vähem. 21. juulil 1969. aastal astusid esmakordselt Kuu pinnale kosmoselaeva «Apollo-11» kaks meeskonnaliiget — Neil Armstrong ja Edwin Aldrin. Kuul viibitud aja jooksul pildistasid nad Kuu maastikku, korjasid kivi- miproove (kaasa võeti ca 28 kg kivimeid), paigaldasid Kuule seis- mograafi ja reflektori Maalt saadetavate laserikiirte peegeldami- seks. Analüüs näitas, et Kuu kivimid erinevad maapealsetest vähe.

1970. a. septembris tõi Kuult järjekordsed pinnaseproovid Nõuko- gude kuurakett «Luna-16», seekord automaatseadmete abil. Saadud pinnaseproove hakatakse uurima reas meie maa uurimisasutustes.

Kuu pinnaehitus ja selle kujunemine pakub huvi ka geologi- dele, sest tänu vee ja tuule purustava toime puudumisele on Kuu oma koore möödunud ajaloo muuseum. Kuu pole aga täiesti sur- nud maailm. 1958. aastal märkas nõukogude astronoom N. Kozõrev Alfonsi kraatris gaaside väljatungimist Kuu sisemusest.

Kuu rõngasmägede tekkimist on põhjustanud arvatavasti nii sise- kui ka välisjõud. Väljaspool kahtlust on tektooniliste ja vul- kaaniliste nähtuste osa, sest Kuul on olemas murrangujooned, kraatrite ahelikud, hiiglasuur, kraatritele sarnaste nõlvadega lava- mägi. Kuu kraatrid sarnanevad Havai saarte laavajärvedega. Meteoriidide kukumisest tekkinud kraatreid on ka Maal.

Kuu «mered» on tekkinud arvatavasti Kuu koore sulamise ja laava väljavoolamise tagajärjel.

Loomulikult on olnud peamised mäetekkeperioodid Kuul, samuti nagu Maalgi, kauges minevikus.

Arvukatel Marsil avastatud kraatritel peaks olema Kuu kraat- ritega ühesugune päritolu. Tõenäoliselt on kraatrid ka Merkuuril. Intensiivne kraatrite tekkimine on nähtavasti seotud väikese ras- kusjõuga planeedi pinnal ja meteoriidide lööke pehmenitava «õhu- padja» hõredusega.

Nõukogude kosmosejaamad tegid kindlaks magnetvälja ja kiir- gusvööndite puudumise ning radioaktiivsete elementide olemasolu Kuul.

21. ASTEROIIDID JA METEORIIDID.

1. **Asteroidid.** Väikeplaneedid ehk asteroidid tiirlevad Marsi ja Jupiteri orbiitide vahel.

Esimene väikeplaneet avastati 1801. aastal ja nimetati tradit- siooniliselt Ceres'eks (nimi Kreeka-Rooma mütoloogiast). Peagi avastati ka teisi väikeplaneete, millele anti nimeks Pallas, Vesta ja Juno. Fotograafia kasutuselevõtmisega hakati avastama suurel arvul üha nõrgemaid asteroide. Käesoleval ajal tuntakse üle 1700 asteroidi. Kuidas ka ei löikuks asteroidide orbiidid projektsioonis, ei löiku nad kunagi ruumis ja asteroidid omavahel kokku ei pörka. Väikeplaneedid võisid tekkida seetõttu, et mingil põhjusel ei saa-

nud aine koonduda üheks suureks kehaks — planeediks. Kuid võimalik on ka otse vastupidine oletus — olemasolnud planeet millegipärast lagunes ja asteroidid on tema killud. Sellele mõttele viib asteroidide kuju; paljud asteroidid pole kerakujulised, vaid hoopis korrapäratud. Asteroidide kogumassi hinnatakse võrduvat ainult 0,1 Maa massiga.

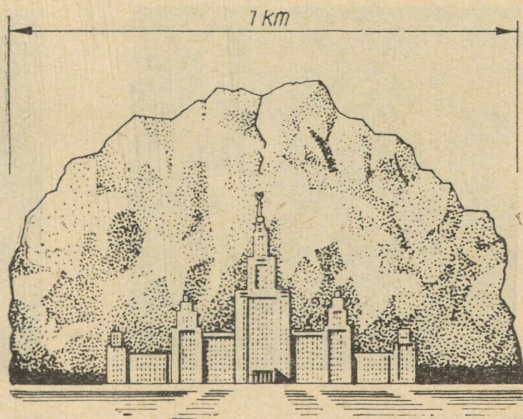
Kõige suurem asteroid on Ceres. Kõige heledam asteroid Vesta pole heledam kuuendast tähesuurusest. Ceresi diameeter on 780 km, kuid isegi võimsaimate teleskoopidega ei õnnestu sellel väikesel, Marsi orbiidi taga asuval kettal midagi näha. Väikseimate tuntud asteroidide diameeter on ainult mõni kilomeeter (joon. 64). Asteroididel pole atmosfääri. Taevaskeral paistavad asteroidid tähtedena ja erinevad nendest ainult planeetidele omase silmusekujulise liikumisega tähistaeva taustal.

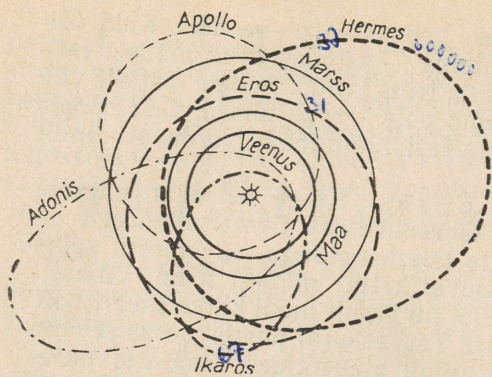
Mõnede asteroidide orbiit on ülimalt väljavenitatud, ebatavaliselt suure ekstsentrilisusega, mistõttu periheelis on asteroidid Päikesele lähemal kui Marss või isegi lähemal kui Maa (joon. 65). Ikaros liigub Päikesele lähemale kui Merkuur. 1968. aastal tuli Ikaros Maale peaaegu 10 korda lähemale kui Marss, kuid tema tühine külgetõmbejõud ei avaldanud Maale mingit mõju. Ajuti liiguvad Maale Hermes, Eros ja teised väikeplaneedid.

2. Boliidid ja meteoriidid. Taevas lendavat tulekera nimetatakse boliidiks. Heledamaid boliide võib näha isegi päeval ja nende nähtav nurkdiameeter on $\frac{1}{10} - \frac{1}{2}$ Kuu nähtavast diameetrist. Ebausklikud inimesed pidasid selliseid tulekerasid lendmadudeks ja draakoneiks.

Boliid on planeetidevahelisest ruumist Maa atmosfääri alumistesse kihtidesse tunginud suur meteoriit. Teda ümbritseb ulatuslik kest, mis koosneb hõõguvatest gaasidest ja Maa atmosfääris pidur-

64. Ühe väiksema asteroidi suurus.





65. Mõne asteroidi suure eksentrilisusega orbiidid.

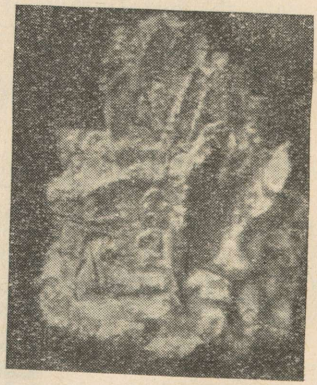
dumisel meteoriidi küljest lahtirebitud osakekestest (joon. 66). Sageli aurustuvad väikeste mõõtmetega meteoriidid Maa atmosfääris täielikult. Enamikul juhtudel vähenevad lennul meteoriidi mass ja kiirus tunduvalt ning Maale langevad ainult meteoriidi jäänused.

Sageli paneb suur õhutakistus meteoriidi hõõguma ja ta langeb Maale suure raksatusega ning puruneb kildudeks. Mõnikord langeb Maale koguni meteoriitide sadu. Lendamisel meteoriidi pind sulab ja kattub musta koorikuga (joon. 67). Üks selline must kivi on müüritud Mekas templi seina sisse ja on usukultuse esemeks.

Meteoriite on kolme liiki: kivimeteoriidid, raudmeteoriidid ja raud-kivimeteoriidid. Mõnikord leitakse meteoriite alles palju aastaid pärast nende kukkumist Maale. Eriti palju on leitud raudmeteoriite. Nõukogude Liidus on meteoriit riigi omand ja kuulub üleandmisele uurimisasutustele. Uuringud on näidanud, et meteoriidid koosnevad ainult Maal tuntud keemilistest elementidest. See kinnitab veel kord universumi materiaalselt ühtsust.



66. Boliidi lend.



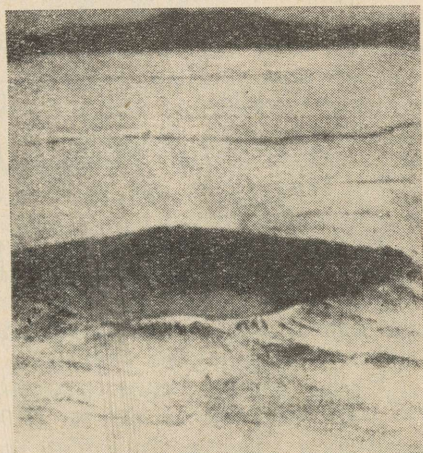
67. Raudmeteoriit.

Radioaktiivsete elementide ja seatina sisalduse järgi tehakse kindlaks meteoriitide iga. Erinevad meteoriidid on erineva vanusega, kuid kõige vanemad nendest pole maakoorest vanemad.

Mõned eriti suured meteoriidid langevad Maale suure kiirusega ja plahvatavad, tekitades Kuu kraatreid meenutavaid meteoriidikraatreid. Seejuures sageli meteoriidid ise aurustuvad täielikult. Nii juhtus see 1908. aastal Tunguusi meteoriidiga, mille langemisega kaasnev õhuline purustas tohutult suures ulatuses metsa. Kõige suurem ja uuritum meteoriidikraater asub Arizonas (USA) (joon. 68). Selle kraatri diameeter on 1200 m ja sügavus 200 m. Arvatavasti tekkis Arizona kraater 5000 aasta eest. On leitud veelgi suuremate ja vanemate meteoriidikraatrite jälgi. Kõik meteoriidid on Päikesesüsteemi liikmed.



68. Arizona meteoriidikraater.



Otsustades selle järgi, et asteroidide hulk suureneb nende mõõtmete vähenemisega ja et on avastatud palju väikeasteroide, mille orbiidid lõikuvad Marsi orbiidiga, võib arvata, et meteoriidid on väga väikesed asteroidid, mille orbiidid lõikuvad Maa orbiidiga. Meteoriitide siseehitus annab tunnistust sellest, et nad on olnud kõrge temperatuuriga ja suure rõhu all. Järelikult võisid meteoriidid olla planeedi sisemuses. Asteroidide ja meteoriitide killutaoline väliskuju on samuti kooskõlas hüpoteesiga, et asteroidid ja meteoriidid on plahvatusel hävinud planeedi erineva suurusega killud.

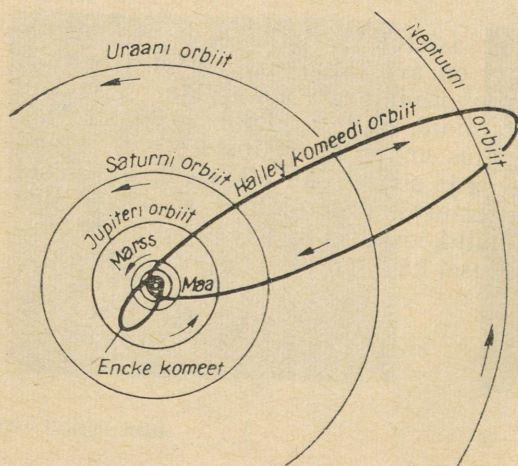
22. KOMEEDID JA METEORID.

1. Komeetide liikumine ja nende avastamine. Päikesest kaugel sarnanevad komeedid väga kahvatute, laialivalgunud ja heledate plekkidega. Mõnikord on komeedi keskel tuum. Suurem osa komeete jääb selliseks ka Päikese lähedal ja ainult mõned komeedid on Päikese läheduses väga heledad ja sabaga. Komeedid on taevakehad, mille tühine mass (loomulikult Päikesesüsteemi suhtes) on teravaks kontrastiks hirmule, mida tekitas inimestes komeetide ilmumine. Suuri komeete, uduseid, pika kahvatu sabaga taevakehi, peeti sõdade ja muude hädade ennustajaiks. Veel 1910. aastal toimus tsaari-Venemaal palveteenistusi «komeedi näol ilmunud jumala viha» ärapäõramiseks.

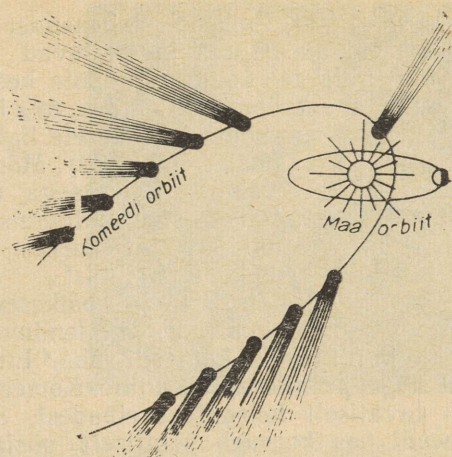
Jälgides komeedi liikumist tähtede taustal, arvutas I. Newton esimesena välja komeedi orbiidi ja veendus, et komeet liikus Päikesesüsteemis nagu planeedidki Päikese külgetõmbejõu mõjul. Hiljem arvutas inglise teadlane Halley paljude teiste nähtud komeetide orbiidid ja tegi kindlaks, et 1531., 1607. ja 1682. aastal nähtud komeedid on tegelikult üks ja seesama taevakeha, mis perioodiliselt läheneb Päikesele. Afeelis asub see komeet Neptuuni orbiidi taga (joon. 69) ja 75,5 aasta möödudes läheneb uuesti Maale ja Päikesele.

Halley ennustas esimesena komeedi ilmumise 1758. aastal ja tõepoolest, palju aastaid pärast Halley surma, ilmus komeet uuesti nähtavale. Seda hakatigi nimetama Halley komeediks ja teda on veel nähtud 1835. ja 1910. aastal. Järgmine Päikesele lähenemine leiab aset 1985.—1986. aastal.

Halley komeet kuulub perioodiliste komeetide hulka. Tänapäeval tuntakse paljusid kolme- (Encke komeet) kuni kümneaastase



69. Halley komeedi orbiit.



70. Komeedi saba kasvab Päikesele lähenemisel ja on alati suunatud temast eemale.

tiirlemisperioodiga komeete. Nende komeetide afeelid asuvad Jupiteri orbiidi lähedal. Lähenemine Maale ja edasine teekond taevafääril arvutatakse eelnevalt välja suure täpsusega. Peale nende komeetide avastatakse, tavaliselt küll fotode järgi, väga väljavenitatud orbiitidega ja pika tiirlemisperioodiga komeete. Me loeme nende orbiite paraboolideks, kuigi tegelikkuses on nad tõenäoliselt ellipsid. Teades vaid komeetide liikumistee lühikesi lõike, pole neid kerge üksteisest eraldada. Suuremal osal ootamatult ilmunud kui ka perioodilistel komeetidel pole sabasid ja nad on nähtavad ainult teleskoobi vahendusel. 1967. aastal nähti 14 komeeti, millest 4 olid uued ja 10 oodatud. Kataloogidesse on kantud umbes tuhat nähtud komeeti. Komeet saab endale tema avastanud teadlase perekonnanime.

Perioodiliste komeetide orbiitide kaldenurk ekliptika tasapinna suhtes ja ekstsentrilisus on väikesed. Oterma ja Schwassmann-Wachmanni komeetid liiguvad peaaegu ringikujulistel orbiitidel, kusjuures Oterma komeet liigub Marsi orbiidi lähedal ja tema orbiit ei erine asteroidide omadest. Veelgi enam, sellistel asteroididel nagu Ikaros ja Hermes on orbiidid pigem komeedi (väljavenitatud) kui planeedi tüüpi. Komeetide sugulust asteroididega kinnitab ka see, et Schwassmann-Wachmanni ja mõnedel teistel komeetidel kadus ajutiselt neid ümbritsev udukest, mistõttu nad muutusid asteroididest eraldamatuteks. Järelikul on väikeasteroidid ja komeetid omavahel mingis suguluses.

2. Komeetide füüsiline loomus. Väike, mõnekilomeetrise läbimõõduga tuum on komeedi ainus tahke osa. Tuuma on praktiliselt koondunud kogu komeedi mass, mis on väga väike. Seepärast ei avalda komeet planeetide liikumisele mingisugust mõju. Planeetid aga põhjustavad suuri häireid komeetide liikumises.

Komeedi tuum koosneb arvatavasti tolmuosakeste, aine tahkete osakeste ja külmunud gaaside (süsihappegaas, ammoniaak,

metaan) segust. Päikesele lähenemisel hakkavad tuumas sisalduvad gaasid aurustuma ja tekitavad lenduva kooma-gaasikesta. Paljudel komeetidel pole kest kerajas, vaid paraboolse piirjoonega, s. t. komeedil on pea, mis läheb üle sabaks.

Mida rohkem komeet Päikesele ligineb, seda heledam ta on ja seda pikem on ta saba (joon. 70). Mõnikord võrdub komeedi saba Maa ja Päikese vahelise kaugusega, ning komeedi pea saavutab Päikse suuruse. Päikesest eemaldumisel muutuvad komeedi kuju ja heledus vastupidises järjekorras ning Jupiteri orbiidi kaugusele jõudes kaob komeet silmist.

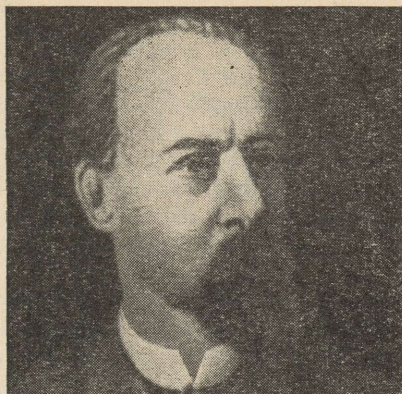
Korpuskulaarkiirguse ja päikesevalguse mõjul lükatakse komeedi tuumast komeedi pähe lenduvad gaasid ja tolm Päikesest eemale ja nii tekibki komeedi saba.⁴ Enamikul juhtudel on komeedi saba sirge, peenikene ja kiuline. Komeedi pea ja saba spekter koosneb tavaliselt heledatest ribadest. Spektri analüüs näitab, et komeedi pea koosneb põhiliselt süsiniku ja tsüaani aurudest, komeedi saba koostisse kuuluvad aga süsinikoksiidi (vingugaas)

⁴ Valguse rõhu mõju väikestele aine- ja gaasiosakestele näitas katseliselt väljapaistev vene füüsik P. Lebedev.



71. 1957. a. pildistatud Mrkosi komeet. Näha on kooldunud, II tüüpi saba ja sirge, I tüüpi saba.

F. Bredihhin (1831—1904).



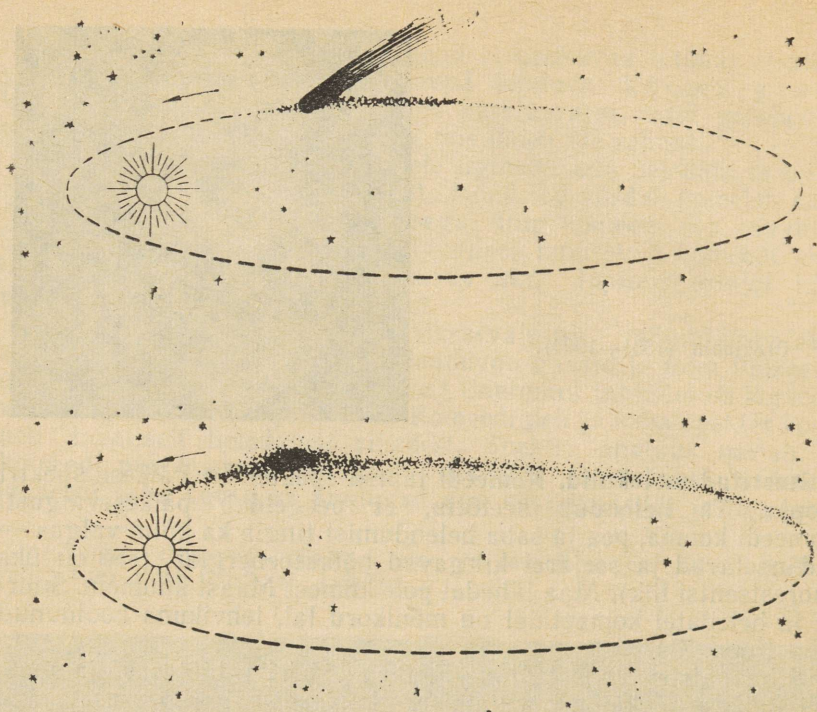
ioniseeritud molekulid. Komeedi tuuma spekter on Päikese spektri koopia. Ta helendub seetõttu, et peegeldab päikesevalgust. Komeedi kooma, pea ja saba helendumist tingib ka külm valgus — nad neelavad ja seejärel kiirgavad päikeseenergiat (see on üks fluorestsentsi liik). Maa lähedal pole komeet Maast kuumem. Suurtel ja heledatel komeetidel on mõnikord lai, lehvikuna kooldunud saba (joon. 71).

Silmapaistev vene tedlane F. Bredihhin töötas välja meetodi Päikese tõukejõu arvutamiseks komeedi saba kõveruse järgi. Ta andis komeetide sabade klassifikatsiooni ja selgitas mitmeid neis toimuvaid nähtusi mehhaanika ja füüsika seadustega.

Viimastel aastatel on selgunud, et gaaside liikumist ja murde sirgetes sabades põhjustab komeedi sabas leiduvate gaaside ioniseeritud molekulide ja päikesetuules nendesse lendavate korpuskulite voo vastastikune toime. Korpuskulite vood kannavad endaga kaasas magnetvälja. Ioonid ei saa liikuda risti magnetvälja jõujoontega ja magnetväli paiskab gaasiioonid komeedi saba sisse. Nendel juhtudel ületab päikesetuule tõukejõud tuhandeid kordi Päikese külgetõmbejõu. See on üks ilmekamaid näiteid vastandite võitlusest looduses.

Kuumade gaaside plahvatusega Päikesel kaasneb lühilainelise kiirguse ja päikesetuule tugevnemine, mis tигib komeetide heleduse ootamatu suurenemise. Isegi tänapäeval tuntakse mõnikord hirmu sellepärast, et Maa võib komeediga kokku põrkuda.

1910. aastal läbis Maa Halley komeedi saba. Kuigi komeedi saba sisaldab vingugaasi, ei õnnestunud mingite analüüsidega avastada tema sisaldust õhus, sest vingugaas on väga hõre. Isegi komeedi peas on gaasid väga hõredad. Maa kokkupõrkamine komeedi tuumaga on äärmiselt väikese tõenäosusega sündmus ja isegi siis, kui see peaks juhtuma, ei ähvarda Maad miski. Tõepoolest, hõõrdumise tõttu õhus kuumenedes aurustub komeedi jääne tuum ja vabanenud tahked osakesed, meteorkehad, põhjustavad



72. Laguneva komeedi muutumine meteorivooluks.

«langevate tähtede», s. t. meteoride vihma. Järgmisest osast saab see selgemaks.

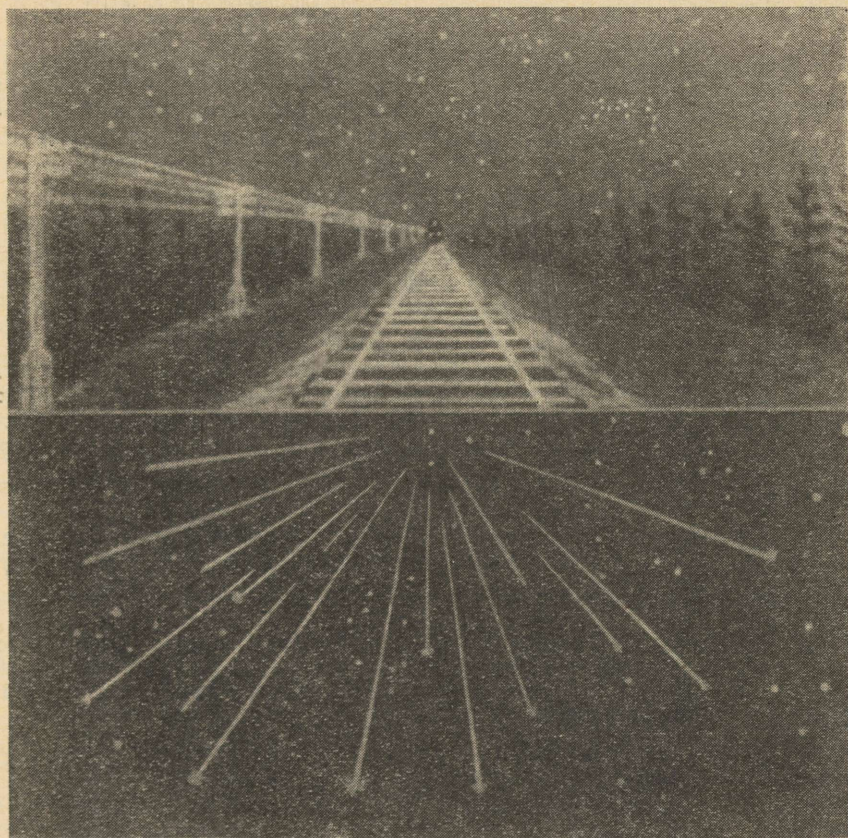
3. Komeetide päritolu ja nende lagunemine meteorivooludeks.

Komeetid kuuluvad Päikesesüsteemi koosseisu. Järelikult sündisid nad koos Päikesesüsteemiga või tema sees, kuigi pole veel teada, kuidas nimelt. Hollandi teadlase J. Oorti hüpoteesi kohaselt moodustavad komeetid hiiglasuure pilve, mis ulatub kaugele Neptuuni orbiidi taha. Lähedal asuvate taevakehade poolt tekitatavate häirete tõttu mõned komeetid just nagu lükatakse Päikesesüsteemi. Sellega selgitatakse peaaegu parabolsetel orbiitidel liikuvate komeetide orbiitide suurt kaldenurka ekliptika tasapinna suhtes ja ümber Päikese vastupidises suunas tiirlevate komeetide esinemist. Jupiteri külgetõmbejõud võib muuta mõned komeetid lühiperioodilisteks. Mõistatust komeetide päritolust ei saa aga lugeda lahendatuks.

Juba ammu pandi tähele, et perioodiliste komeetide tuumad tuhmuvad — iga tiiruga helenduvad nad ikka nõrgemini. Mitmeid kordi on nähtud komeedi tuuma lagunemist kaheks ja enamaks osaks. Lagunemine põhjustas kas solaarseid loodeid või Maa kokkupõrkumist meteorivooluga. Tšehhi õpetlase Biela poolt 1772.

aastal avastatud komeeti nähti korduvalt seitsmeaastase perioodiga. 1846. aastal lagunes komeedi tuum kaheks nõrgaks komeediks, mida pole hiljem enam nähtud (joon. 72). 1872. aastal, mil kadunud komeetid pidid arvutuste kohaselt Maale lähenema, täheldati «langevate tähtede» sadu. Sellest ajast alates kordub see igal aastal 27. novembril, kuigi väiksema intensiivsusega. Endise Biela komeedi lagunenu tuuma väikesed tahked osakesed venisid piki komeedi orbiiti laiali ja kui Maa lõikab nende voogu, lendavad nad Maa atmosfääri ning aurustuvad. Tuntakse ka mitmeid teisi meteorivoole.

Meteorokehad on komeetide jäänused, mida on näha ainult nende aurustumismomendil ja mida nimetatakse meteorideks. Meteorivoolude laius on palju kordi suurem neid tekitanud tuumade mõõtmetest.



73. Meteoride sadu ja nende perspektiivne koondumine radiandis.

Pildistades ühe ja sama meteoori teed tähistaeva taustal, nagu ta paistab teineteisest 20—30 km kaugusel olevatele vaatlejatele projektsioonis, määratakse meteoori ilmumise kõrgus. Sagedamini hakkavad meteorokehad helenduma 100—120 km kõrgusel ja aurustuvad täielikult 80 km kõrgusel. Meteorokehade spektris esinevad intensiivsed raua, kaltsiumi, räni jt. elementide jooned. Meteoori pildistamisel pöörleva katikuga kaameraga saadakse katkendlik, õhus meteoori pidurdumist näitav jälg. Selle kaudu saab määrata meteorokehade tihedust, mis on ainult umbes $0,1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$.

Arvatavasti on meteorokehad urbsed osakesed, mille poorid on täidetud komeedi jääga, mis Maa atmosfääris aurustub kõige enim. Arvutuste järgi peaks meteorokehade mass olema milligrammilises suurusjärgus ja mõõtmed — millimeetri osades.

Meteorokehadest eralduvad hõõguvad gaasid moodustavad helenduva jälje, mis sisaldab ka ioniseeritud õhu molekule. See andis võimaluse kasutada meteoride uurimiseks radiolokaatorit. Samuti õnnestub määrata meteoride kiirusi. Maa liikumise suunas lendavate meteorokehade kiirus nende tungimisel Maa atmosfääri ei ületa $11 \frac{\text{km}}{\text{s}}$. Maale vastu lendavate meteorokehade kiirused on ca $60—70 \frac{\text{km}}{\text{s}}$.

Vaatlejale näib vahel, et meteorid lähtuvad mingist tähekogust, kohast taevas, mida nimetatakse meteorivoolu radiandiks (joon. 73). Tegelikult on see perspektiivi efekt, sest paralleelselt lendavate meteoride teed pikendamisel nagu lõikuksid. Samasugust nähtust võib täheldada ka raudteerööpmete juures. Radiantil on tähekogude seas kindel asukoht ja ta võtab osa taevastähti ööpäevasest pöörlemisest. Astronoomia võimaldab ette arvutada päevad, mil meteorivoolud Maaga kohtuvad ja vähendab seega kosmonautide meteoridega kohtumise ohtu. Samuti arvestatakse seda kosmoselaevade väljasaatmise kuupäevade määramisel.

10.—12. augustil Perseuse tähtkujust väljalendavaid meteore nimetatakse perseiidideks. Meteorivoolude vaatlemine on tähtis teaduslik ülesanne, mis on kooliõpilastele täiesti jõukohane.

- ▶ 1. Pärast päikeseloojakut asub komeet läänes. Kuidas paikneb horisondi suhtes komeedi saba?
- 2. Kui suur on Halley komeedi orbiidi pikem pooltelg, kui komeedi tiirlemisperiood on 76 aastat?

IV. PÄIKE JA TÄHED.

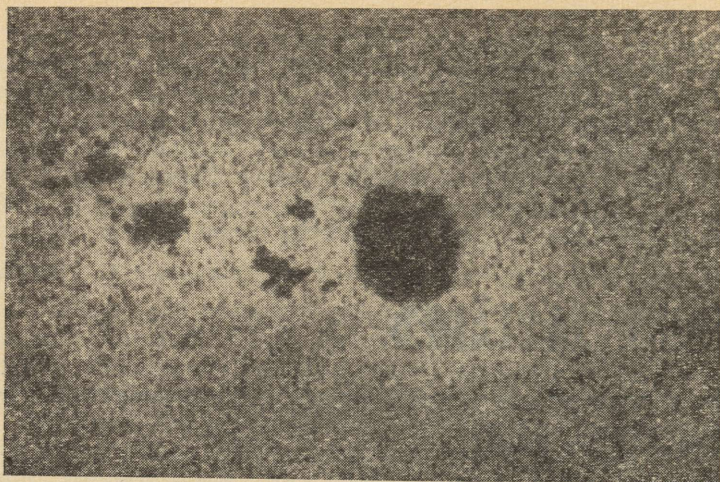
23. LÄHIM TÄHT — PÄIKE.

1. Päikese energia ja nähtav pind. Päike — valguse, soojuse ja elu allikas Päikesesüsteemis — on meile ka kõige lähem täht. Isegi tugevamate teleskoopidega vaadates paistavad tähed helen-davate punktidena. Päike on ainus täht, mida me näeme kettakuju-lisena. Samuti on võimalik näha ja uurida mitmesuguseid Päikesel toimuvaid nähtusi. Päikese uurimine aitab meil paremini mõista tähtede loomust, ehkki paljud tähed erinevad temast tunduvalt.

Päikese mass on Maa massist 332 000 ja kõikide Päikesesüs-teemi planeetide kogumassist 750 korda suurem. Diameeter on Maa omast 109 korda suurem. Maale langeb ainult 1 : 2 000 000 000 osa kogu Päikese poolt kiiratud energiast. Teades seda ja mõttes maapinna 1 cm² suurusele osale 1 minuti jooksul langeva energia, võib arvutada Päikese kiirguse koguvõimsuse. **Solaarkonstandiks nimetatakse päikeseenergia hulka, mis 1 minutis langeb päikese-kiirtega risti asetsevale 1 cm² suurusele pinnale Maa keskmisel kaugusel Päikesest.** Solaarkonstandi väärtus on $2 \frac{\text{cal}}{\text{cm}^2 \text{ min}} = 0,14 \frac{\text{W}}{\text{cm}^2}$.

Korrutades solaarkonstandi väärtuse kera pindalaga, mille raadius võrdub Maa ja Päikese vahelise kaugusega, saame Päikese kiirguse võimsuseks $4 \cdot 10^{33} \frac{\text{erg}}{\text{s}} = 4 \cdot 10^{26} \frac{\text{J}}{\text{s}}$ (Päikese mass on $2 \cdot 10^{33}$ kg). Ühes sekundis kiirgab Päikese 1 cm² suurune pind $6,2 \cdot 10^3$ J energiat, mis vastab võimsusele 84 000 hj ühelt ruut-meetrilt.

Meieni tuleb kiirgus Päikese erinevatest kihtidest, mis ei ole ühesuguse temperatuuriga. Päikese efektiivseks temperatuuriks ($T_e = 6000^\circ$) nimetatakse tema mõõtmetega ja Päikese kogu kiir-gusenergiaga võrdset energiat kiirgava keha temperatuuri. Päi-kese efektiivne temperatuur arvutatakse mõõtmistest saadud solaarkonstandi väärtuse järgi.



74. Päikese fotosfäär granulatsiooni ja laiguga.

Päikese keskmine tihedus on $1,4 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$, kuid tänu kõrgele temperatuurile on Päike läbinisti gaasiline. Tema välimised kihid on Maa atmosfäärist palju hõredamad, kuid sisemuses on tihedus hiiglarõhu tõttu väga suur.

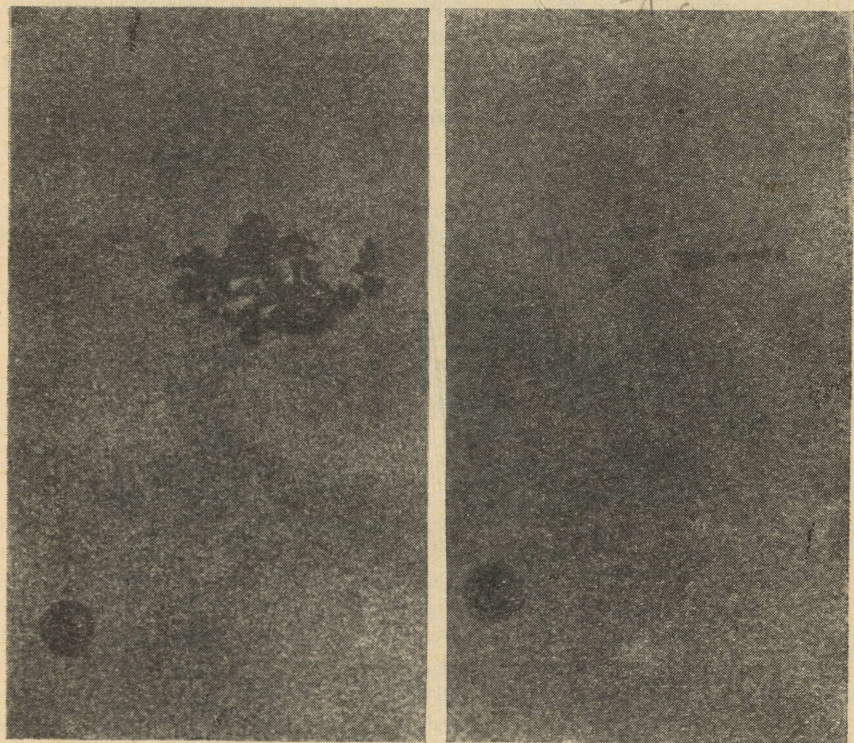
Päikese nähtavat pinda nimetatakse fotosfääriks. Peaaegu kogu meieni tuleva energia kiirgab fotosfäär, millel on pidev spekter. Päikest vaadeldakse kas läbi musta klaasi või projekteeritakse tema kujutis teleskoobi või binokli poolt tekitatuna valgele ekraanile. Fotosfäär on 300 km paksune kiht, mis on 2000 korda väiksem Päikese raadiusest. Aine tihedus fotosfääris on $0,01 - 0,05 \cdot 10^{-6} \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ ja rõhk umbes 0,1 atmosfääri.

Teleskoobis on näha, et fotosfäär koosneb graanulatest — piklikest hõõguvatest gaasipilvedest (joon 74), mille mõõtmed on 300—700 km. Iga 5—7 minuti järel need pilved lagunevad ja asenduvad uute graanulatega. Fotosfäär on kihi, kus toimub konvektsioon ehk gaaside vertikaalne liikumine, ülemine osa. Konvektsioonikihi paksus on 12% Päikese raadiusest ja tema olemasolu on põhjustatud väliskihi kiirest jahtumisest. Graanulad on konvektsiooniprotsessis ülespoole tõusnud kuumad gaasimassid, mis kiiresti jahtuvad ja laskuvad seetõttu peagi jälle alla. Fotosfääri all, 100 000 km sügavuses, on temperatuur umbes 100 000°. Allpool konvektsioonikihti toimub soojuse ülekandumine sisemusest väljapoole kiirgusenergia ülekandumisena.

Fotosfääris, õigemini Päikese servadel, on näha heledaid laiukesi — fakleid. Nad on naaberaladest umbes 200° kuumemad ja seepärast ka veidi heledamad. Faklid võivad eksisteerida näda-

laid ja nad kujutavad endast konvektsiooni tõttu üles tõusnud kuumemate gaaside sammaste tippe (vaata joonist õpiku tagalehel). Gaasisammaste püsivus on tingitud Päikese sees olevast magnetväljast, mis takistab ioniseeritud gaaside vertikaalsete voolude kõrvalekaldumist horisontaalsuunas.

Fotosfäärile ilmuvad ka tumedad poorid — laikude alged. Sageli kasvab laik nii suureks, et tema diameeter ületab maakera läbimõõdu (joon. 75). Laigu piirkonnas kasvab magnetvälja tugevus kuni tuhande örstedini, kuna häirimatul ajal on magnetvälja tugevus 1 Oe. Seejärel jaguneb laik sageli kaheks osaks, kusjuures laikude magnetiline polaarsus, mida määratakse eriliste tunnuste järgi spektris, on laikude paaril isesugune. Päikese ühel poolkeral on sellel laigul, mis on Päikese pöörlemise suhtes eespool, alati mistahes paaris ühesugune polaarsus, näiteks on ta põhjapooluseks. Päikese teisel poolkeral on magnetilise polaarsuse jaotus kõikides laikude paarides vastupidine. Keskmi-

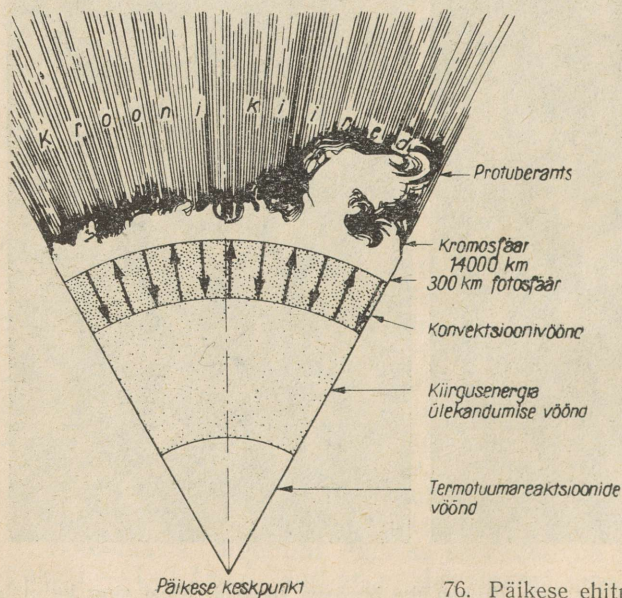


75. Muutused Päikese plekkide grupis ühe ööpäeva jooksul. Must ring kujutab Maad samas mastaabis.

selt 11 aasta järel vahetub juhtlaikude polaarsus. Tume laik on alati ümbritsetud poolvarjuga. Laigud näivad tumedatena ainult kontrasti tõttu neid ümbritseva kuumema ja seetõttu ka heledama fotosfääriga. Laikude temperatuur on umbes 3700° ja seepärast esinevad laigu spektris lihtsate kaheaatomiliste molekulide, nagu CO, TiO, CH, CN jt. neeldumisjooned. Kuumemas fotosfääris lagunevad need molekulid aatomiteks. Tugev magnetväli pidurdab gaaside liikumist risti jõujoontega ja seetõttu lakkab laigu all kuumaade gaaside liikumine üles, mille tulemusena gaas laigus jahtub.

Päikese laigud ilmnevad tavaliselt rühmadena, mis esialgu kasvavad, seejärel jagunevad ikka väiksemateks osadeks ja pikemaajaks kaovad. Laike esineb kahes vööndis mõlemal pool ekvaatorit ja laikude arv ning nendega kaetud pindala omandab maksimumi iga 11 aasta järel. Viimane maksimum oli aastail 1967–1968.

Päikese laikude nihkumise põhjal tegi juba Galilei kindlaks Päikese pöörlemise, mida täpsustas spektraalanalüüs. Ilmnes, et Päikese vööndid pöörlevad erineva kiirusega. Kõige kiiremini pöörleb ekvaatori piirkond, mille täheööpäev on 25 Maa ööpäeva, kõige aeglasemalt poolused — 30 Maa ööpäeva. Kuna Maa läbib 25 ööpäevaga oma orbiidil umbes 25° -se kaare, siis on Päikese ekvaatori pöörlemisperiood 27 ööpäeva ringis. Selle aja jooksul tuleb Maal asuva vaatleja suhtes Päikese tsentris olnud laik sinna uuesti tagasi.



76. Päikese ehituse skeem.

► Kas on võimalik näha palja silmaga Päikese laiku, millel on Maa mõõtmel, kui silm eraldab 2—3-minutilise nurga all langevaid kiiri?

2. Päikese atmosfäär. Kõige madalam temperatuur (4400°) on fotosfääri välimises kihis, mille kohal laiub Päikese atmosfäär. **Päikese atmosfääri alumist kihti nimetatakse kromosfääriks** (joon. 76). Kromosfääris kasvab temperatuur aegamööda mõnekümne tuhande kraadini. Selle põhjuseks on fotosfääri konvektsioonivoolude poolt põhjustatud võnkumised gaasis, mille tõttu suureneb gaasi aatomite soojusliikumise energia.

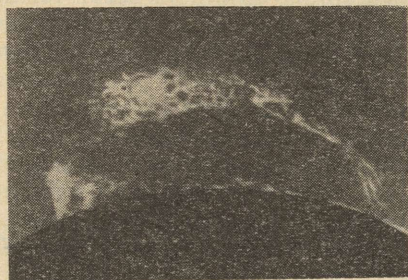
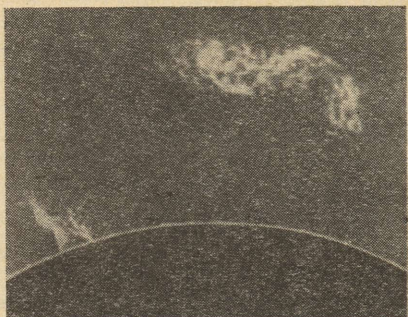
Kromosfäär on fotosfäärist märksa hõredam ja heleda taeva taustal teda ei näe. Ainult täieliku päikesevarjutuse ajal saab mõne sekundi jooksul näha kromosfääri vahetult. Kuu musta serva tõttu paistab kromosfäär punase kitsa sirbina, harva ka kitsa rõngana. Päikesevarjutuse ajal katab Kuu silmipimestava fotosfääri ja taevast on Päikese ümber tavaliselt tumedam. Kromosfääri spekter koosneb heledatest joontest, millest kõige heledam on vesiniku punane joon. Seetõttu ongi kromosfäär punase värvusega. See teeb võimalikuks vaadata kromosfääri läbi vesiniku punase joone lainepikkusega valgust läbilaskva filtri. Kromosfääri spektri järgi tehakse kindlaks tema keemiline koostis ja kõrgus, milleni tõusevad temas erinevad keemilised elemendid. Kõige kõrgemale tõusevad vesinik ja ioniseeritud kaltsium.

Päikese atmosfääri spekter koosneb heledatest joontest, kuid Päikesel endal on paljudest tumedatest neeldumisjoontest läbilõigatud pidev spekter. Neid neeldumisjooni nimetatakse Fraunhoferi joonteks silmapaistva saksa optiku J. Fraunhoferi nime järgi. Tema joonestas esimesena 1814. aastal välja umbes mõnesaja sellise joone asukoha. Nende joonte päritolu ja kasu uurijutele said mõistetavaks alles palju hiljem.

Fotosfääri alumiste, tihedamate ja kuumemate kihtide kiirgusest neelavad ülemised, külmamad ja hõredamad gaasikihid teatud kindlaid, antud elemendi aatomeile iseloomulikke lainepikkusi ehk kindlaid spektrijooni. Järelikult tekib Päikese spektrisse tume joon. Fraunhoferi joonte põhjal tehakse Päikese atmosfääri kvalitatiivset ja kvantitatiivset analüüsi. Päikese atmosfääris on leitud 68 D. Mendelejevi perioodilise süsteemi kuuluvat elementi. Vesiniku aatomeid on Päikesel teiste elementide aatomitest seitse korda rohkem. Massilt on vesinikku 63%, heeliumi 36% ja teisi elemente kõigest 1% Päikese massist. Päikese koostises leiame neidsamu elemente, mis on olemas Maal.

Selles väljendub jällegi universumi materiaalne ühtsus ning maapealsetes tingimustes avastatud füüsika ja keemia seaduste universumile rakendamise võimalikkus.

Aeg-ajalt purskuvad kromosfäärist joad, hõõguvate gaaside pilved või kaared, mida nimetatakse protuberantsideks. Täieliku päikesevarjutuse ajal on protuberantsid nähtavad palja



77. Protuberantside muutumine nelja tunni jooksul (piltidel alt üles).

sillega. Ühed protuberantsid sõuavad rahulikult, teised liiguvad kiirusega mõnisada kilomeetrit sekundis kõrguseni, mis võrdub Päikese raadiusega. Mõnikord võib osa protuberantsi gaasist end Päikesest täiesti lahti kiskuda ja lennata Maa poole või mõnes teises suunas. Maa suhtes on see täiesti ohutu, sest gaas on väga hõre. Sageli on protuberantsid seotud tumedate laikude alaga. Kasutades spetsiaalseid valgusfiltreid, saab iga päev vaadelda protuberantse nii Päikese serval (joon. 77) kui ka projektsioonis päikesekestale.

Spektroheliograafi abil saab uurida erinevate gaaside jaotust ja liikumist Päikese atmosfääris erinevatel kõrgustel fotosfäärist. Spektroheliograafia saadud ülesvõtetel on peale protuberantside näha ka kromosfääris, fakkite kohal heledaid kuumi pilvi flokkuleid, mis tavaliselt ümbritsevad laike. Mõnikord on näha heledaid kromosfääri sähvatusi. Need on kõige võimsamad ja kiiremad Päikese aktiivsuse avaldused, mille hulka kuulub ka laikude,

flokkulite ja protuberantside tekkimine. Kromosfääri sähvatusel ajal suureneb mõneks minutiks flokkuli heledus. Seda põhjustab gaasi katastroofiline kokkusurumine laikudes tekkivate magnetväljade mõjul. Kokkusurumine tõstab tugevasti gaasi temperatuuri, magnetväljad aga kiirendavad mõningaid osakesi hiiglasuurte kiirusteni. Kõige selle tulemuseks on järgmised nähtused: tugevneb Päikesel raadio- ja röntgenikiirgus ning kosmiliste kiirte voog. Päikesest paisatakse välja korpuskulite vood kiirusega keskmiselt umbes $1000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$. Maale lendavad korpuskulaarvood häirivad Maa magnetvälja, tungivad pooluste piirkonnas Maa atmosfääri ja tekitavad magnetorme, virmalisi jm.

Kaudselt mõjuvad elektromagnetilised nähtused ja nendega kaasnevad muutused ka elusorganismidele. Korpuskulaarvood tekitavad Päikesesüsteemis päikesetuule, mis mõjub komeetide sabadele, atmosfäärita planeetide pinnale jne. Tuuleks nimetatakse neid vooge seepärast, et Päike kiirgab neid vahetpidamata, «nad puhuvad Päikeselt nagu tuuled».

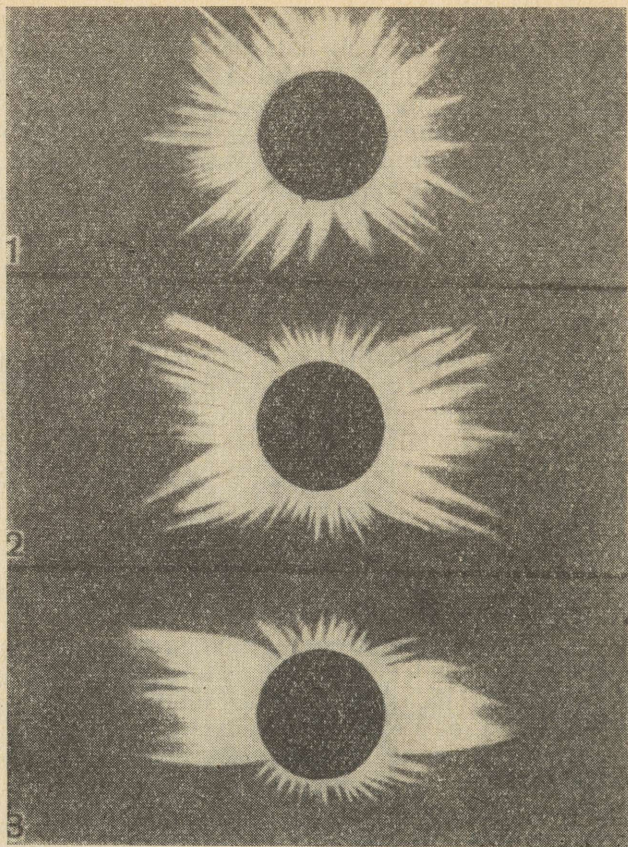
Raadiokiirguse järsked, miljonikordseid suurenemisi nimetatakse häiritud Päikesel raadiohelgiks.

Kromosfääri kohal laiub Päikesel atmosfääri kõige ülemine osa — Päikesel kroon. Päikesel kroon koosneb hõredast gaasist, mille temperatuur ulatub miljoni kraadini. See gaas on erilises olekus ja tema spekter koosneb heledatest, peamiselt tugevasti ioniseeritud raua, joontest, mida pole õnnestunud laboratooriumides kunagi saada. Need jooned desifreeriti teoreetiliselt. On vaja meelde tuletada, et ka heelium (sõnast *hēlios* — päike) avastati Päikesel aastakümneid varem, kui teda leiti Maal. See on veel üks näide selle kohta, kuidas kosmosefüüsika ehk astrofüüsika täiendab ja laiendab füüsikalisi teadmisi.

Päikesel kroon koosneb plasmast — ionide ja elektronide segust, mille suur liikumiskiirus põhjustabki krooni kõrge temperatuuri.

Krooni moodustavad ilusad pikad kiired, mille pikkused ületavad Päikesel raadiuse. Täieliku päikeselvarjutuse ajal pakub kroon hämmastavalt imeilusat vaatepilti. Päikesel kroon on kromosfäärist märgatavalt hõredam ja on Päikesel raadiokiirguse peamine allikas. Raadiomeetoditega saab jälgida krooni kümnete Päikesel raadiuste kaugusel. Päikesel väliskroon läheb üle planeetidevaheliseks keskkonnaks. Krooni koostis on seotud Päikesel aktiivsete piirkondade — laikude ja protuberantside ehitusega ning krooni kiired laiuvad piki aktiivsest piirkonnast lähtuvaid magnetjõu-jooni. Krooni kiired on seotud krooni läbivate korpuskulite voo-
gude liikumisega. Krooni kuju muutub, olles Päikesel aktiivsuse maksimumi ja miinimumi ajal erinev (joon. 78).

Paljud Päikesel toimuvad muutused peegelduvad kas otseselt või kaudselt ka Maal. Nende seoste sügavamale uurimisele oli osa-



78. Päikese kroon. 1 — kui plekke on Päikesel palju; 2 — keskmises staadiumis; 3 — kui plekke on vähe.

liselt pühendatud 50-ndatel aastatel rahvusvahelise geofüüsika-aasta organisatsioon, kui astronoomid, geofüüsikud ja teised teadlased erinevates maades uurisid ühiselt probleemi Maa-Päike.

Päikese aktiivsuse 11-aastase perioodilisuse põhjus on seni veel mõistatus. Päikese tegevuse perioodilisuse ja Päikesel toimuvate mõnede teiste protsesside omavahelise seose teadmine võimaldab astronoomidel teha õnnestunud prognoose magnetstormide, raadiohäirete ja teiste praktikas tähtsate nähtuste ilmumise kohta.

24. TÄHTEDE SPEKTRID, TEMPERAatuurID, ABSOLUUTSED HELEDUSED JA KAUGUSED.

Teadus on selgitanud tähtede tohutu mitmekesisuse, ehkki nad kõik on Päikesega sarnased: nad on isehelenduvad, hõõguvad gaasikerad, mis ammutavad oma põuest kolossaalseid energiavarusid. See näitab, et Päike pole universumis ainuke, vaid üks loendamatumatest päikestest, ja ta ei paista nende hulgas silma millegi erilisega. Tähtede mitmekesisuses valitsevad kindlatest füüsilistest põhjustest tingitud seaduspärasused. Kõike seda on tarvis uurida, et mõista meie Päikesesüsteemi, seega ka Maa päritolu ja tulevikku.

Tähekataloogid sisaldavad mitte ainult kõigi 6000, palja silmaga nähtava tähe koordinaate ja heleduse suurust, vaid ka hulgaliselt palju nõrgemaid, kuni 11. tähesuurusega tähti, mida on miljoni ümber. Kõige uuemal taevaatlasel on näha kuni 21. tähesuurusega tähed. Neid on 2 miljardit.

1. Tähtede spektrid, värvus ja temperatuur. Tähtede spektrid on ääretult mitmekesised, kuid peaaegu kõik nad on neeldumisspektrid. See on tähtede välimistes kihtides toimuva valguse neeldumise tagajärg. Spektreite uurimine võimaldab kindlaks teha tähtede atmosfääri koostist.

Kõikide tähtede atmosfääris on ülekaalus vesinik ja heelium. Tähtede spektrite iseloom sõltub tähtede atmosfääri temperatuurist ja rõhust. Madalatel temperatuuridel võivad gaasid eksisteerida molekulidena. Kõrge temperatuur lõhub molekulide koostisosadeks — aatomiteks. Veel kõrgemal temperatuuril kistakse nõrgematelt aatomitelt ära elektrone ja nad muutuvad ioonideks. Ioniseeritud aatomid kiirgavad ja neelavad mitte enam neid lainepikkusi, mida kiirgavad ja neelavad neutraalsed aatomid. Uhe ja sama keemilise elemendi aatomite ja ioonide spektrijoonte intensiivsuse võrdlemisega tehakse teoreetiliselt kindlaks nende aatomite arvuline suhe. See suhe on temperatuuri funktsioon. Nii saab tähtede spektrite tumedate joonte järgi määrata tähtede atmosfääri temperatuuri. See täiendab võimalust määrata tähtede temperatuuri energia jaotuse järgi nende pidevas spektris ja nendelt Maale tuleva soojust mõõtmise kaudu, millest oli juttu eespool.

Tähtede spektrid on jaotatud klassidesse, mida tähistatakse ladina tähtedega ja numbritega (vt. joon. 88 ja lisas antud tabelit IV). Tähtede värvus ja spekter on seotud nende efektiivse temperatuuriga. Punaste tähtede spektris on punased kiired eredamad. Temperatuur on punastel tähtedel madal ja see kasvab pidevalt üleminekul punastelt oranžidele, seejärel kollastele, kollakasvalgetele, valgetele ja sinakasvalgetele. Samas järjekorras muutub ka kuumutatava keha värvus. Külmade (temperatuuriga umbes 3000°) M-tüüpi punaste tähtede spektrites on lihtsamate kaheaato-

miliste molekulide neeldumisribad. Kõige sagedamini esinevad titaanoksiidi neeldumisribad. Teiste punaste tähtede spektrites on valitsev süsinikoksiid või tsirkooniumoksiid. Esimese tähesuurega külmad punased (CO-tüüpi) tähed on Antaares, Betelgeuse.

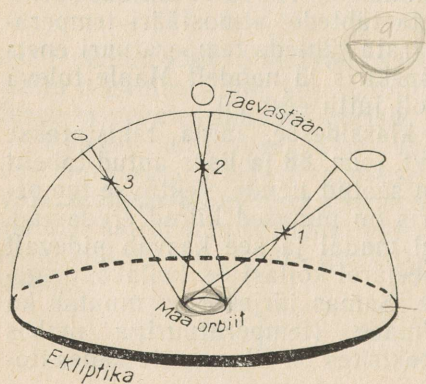
Kollaste tähtede (pinna temperatuur on 6000°) spektrites esinevad neutraalsete metallide, nagu raua, kaltsiumi, naatriumi jt. peened jooned. Nende tähtede hulka kuulub ka Päike. Spektri, värvuse ja temperatuuri poolest on Päikese tüüpi täheks hele Kapella Veomehe tähtkujus.

Valgete, AO-tüüpi tähtede, nagu Siiriuse, Veega ja Deenebi spektrites on eriti tugevad vesiniku jooned ja esineb palju ioniseeritud metallide nõrku jooni. Valgete tähtede temperatuur on umbes $10\,000^\circ$.

Kuumemate, sinakasvalgete (temperatuur umbes $30\,000^\circ$) tähtede spektrites on näha heeliumi ja ioniseeritud heeliumi jooni. Meile lähemate tähtede hulgas seda tüüpi tähti pole ja üleüldse on neid teistest tähtedest tunduvalt vähem.

Enamikul tähtedel on temperatuur vahemikus 3000° — $30\,000^\circ$.

2. Aastaparallaks ja tähtede kaugused. Tähtede parallaktilise nihke mõõtmiseks ja tähtede kauguste määramiseks osutub Maa raadius baasina liiga väikeseks. Juba Koperniku eluajal oli selge, et kui Maa tõepoolest nihkub ruumis, tiireldes ümber Päikese, siis peavad muutuma ka tähtede näivad asukohad taevas. Poole aastaga nihkub Maa oma orbiidi diameetriga võrdse lõigu võrra. Suunad tähele Maa orbiidi diameetri mõlemast otspunktist peavad erinema parallaktilise nihke võrra. Teiste sõnadega, tähel peab olema märgatav aastaparallaks. Aastaparallaksiks nimetakse nurka, mille all tähelt vaadatuna paistab vaatekiirega risti asetsev Maa orbiidi pikem pooltelg (joon. 79). Tähe parallaksi aga ei avastatud ja Kopernik väitis õigesti, et selle põhjuseks on tähtede suur kaugus Maast, mistõttu tollal kasutada olevate riistadega ei saadud avastada Maa orbiidi diameetriga võrduva baasi puhul tähtede parallaktilist nihkumist. (Arvutage, mitu korda on Maa orbiidi diameeter suurem Maa diameetrist.) Vaat-



79. Tähtede aastaparallaks.

lusi tähtede asukohta määramiseks taevastehakse momentidel, mida lahutab teineteisest pool aastat. Selle ajaga kannab Maa vaatleja kaugusele, mis võrdub Maa orbiidi diameetriga. Tänapäeval määratakse tähtede kaugusi põhiliselt nende aastaparallaksi järgi. Esimesena mõõtis usaldatavalt tähe Veega aastaparallaksi silmapaistev vene teadlane F. v. Struve 1837. aastal. Samaaegselt mõõdeti teistes maades veel kahe tähe parallaksid. Üheks selliseks täheks oli α Kentauris, mis osutus meile kõige lähemaks täheks. Tema aastaparallaks $p=0'',75$. Sellise nurga all näeksime palja silmaga 1 mm läbimõõduga traati 280 m kauguselt. Pole ime, et kaua aega ei suudetud märgata tähtede nii pisikesi nihkenurki.

Tähe kaugus $D = a : \sin p$, kus a on Maa orbiidi pikem pooltelg. Kui väljendada p kaaresekundites, siis p väiksuse tõttu $D = a : p'' \sin 1''$. Võttes a ühikuks ja teades, et $\sin 1'' = \frac{1}{206\,265}$, saame $D = \frac{206\,265}{p''}$ astronoomilist ühikut.

Kõige lähema tähe, α Kentauris kaugus $D = 206\,265 : \frac{3}{4} = 270\,000$ aü. Valguskiir tuleb α -lt Kentauris meieni 4 aastat, kuna Päikeselt tulekuks kulub ainult 8 minutit ja Kuult ainult üks sekund.

Tähtede kaugusi on sobiv väljendada parsekites (pc). Parsek on kaugus, millelt vaadatuna paistab vaatekiirega risti asetsev Maa orbiidi pikem pooltelg nurga all $1''$. Kaugus parsekites võrdub kaaresekundites avaldatud aastaparallaksi pöördväärtusega. $1 \text{ pc} = 3,26 \text{ va. (valgusaastat)} = 3 \cdot 10^{13} \text{ km}$. α Kentauri kaugus on $\frac{4}{3} \text{ pc}$.

Aastaparallaksi mõõtmisega saab usaldatavalt määrata mitte kaugemal kui 100 pc ehk 300 va. asuvate tähtede kaugusi. Kauge tähtede kaugusi saab tänapäeval määrata mõningate teiste meetoditega.

3. Tähtede absoluutsed heledused ja tähesuurused. Tähe absoluutseks heleduseks L nimetatakse tema tõelist valgustugevust Päikese valgustugevuse suhtes.

Absoluutseks tähesuuruseks M nimetatakse näivat tähesuurust, mis oleks tähel, kui ta asetseks meist kindlal kaugusel $D_0 = 10 \text{ pc}$. Suurusi L ja M on lihtne arvutada, kui on teada tähe kaugus D ja parallaks p . Tõepoolest, valgusallika heledus muutub pöördvõrdeliselt kauguse ruuduga. Järelikult, kui nähtav heledus kaugusel D on I , kaugusel D_0 aga I_0 , siis:

$$I : I_0 = D_0^2 : D^2. \quad (1)$$

Tähe heleduse ja tähesuuruse vahelisest sõltuvusest järeldub, et

$$I : I_0 = 2,512^{m_0 - m}, \quad (2)$$

kus m ja m_0 on tähesuurused ning I ja I_0 nendele vastavad heledused. Järelikult, kui I_0 ja M vastavad kaugusele 10 pc ning I ja m kaugusele D , siis:

$$0,4 (m - M) = \log D^2 - \log 10^2, \text{ või} \quad (3)$$

$$M = m + 5 - 5 \log D, \text{ või} \quad (4)$$

$$M = m + 5 + 5 \log p''. \quad (5)$$

Nende valemite abil saab leida absoluutse tähesuuruse M , kui on teada näiv tähesuurus m tähe tegelikul kaugusel D . Meie Päike paistaks 10 pc kaugusel viienda tähesuuruse tähena, s.t. Päikesel on $M = M_0 = 5$.

Teades mingi tähe absoluutset tähesuurust, saab arvutada tema absoluutse heleduse:

$$L = I : I_0 = 2,512^{5-m}, \text{ millest}$$

$$\log L = 0,4 (5 - M), \quad (6)$$

kus 5 on Päikese absoluutne tähesuurus.

Suurused M ja L väljendavad erinevates ühikutes tähe tõelist valgustugevust sõltumatult tähe kaugusest.

Väga heledate tähtede absoluutsed tähesuurused on negatiivsed ja omavad väärtusi kuni $M = -8$. Selliseid tähti nimetatakse hiidudeks ja ülihiidudeks. Kuldkala tähtkujus on meie Päikesest 500 000 korda heledam täht — tema absoluutne heledus $L = 500\,000$. Tähistaeva lõunapoolkeral näeb teda ainult tugeva suurendusega binokliga. Päikest aga loetakse kääbustäheks! Kõige väiksem valgustugevus on külmadel punastel kääbustel, nende $M = 17$ ja $L = 0,000\,013$.

On olemas ühesuguse temperatuuri ja värvusega, kuid erineva absoluutse heledusega tähti. Nende tähtede spektrid on ühesugused, erinevust võib märgata vaid mõnede joonte intensiivsuses. Seda põhjustab asjaolu, et ühesuguse temperatuuri puhul on mõnevõrra erinevad tähtede atmosfääride rõhud. Hiidtähtede atmosfääri rõhk on väiksem, nad on hõredamad. Kui taoliste tähtede jaoks joonistada graafik, mis näitab kindlate spektrijoonte paaride intensiivsuste suhte muutumist sõltuvalt tähtede absoluutsest tähesuurusest, saame leida graafikult joonte intensiivsuste järgi tähe absoluutse tähesuuruse M . Paigutades leitud M väärtuse võrrandisse (4), saame leida tähe kauguse.

On tähti, mille heledus muutub seaduspäraselt ja millel on kindel absoluutne tähesuurus. Teades nende tähtede absoluutseid tähesuurusi ja võrreldes neid näiva tähesuurusega, saame määrata tähe kauguse. Sel viisil õnnestus välja arvutada teatud tüüpi tähtede kaugused, mis ulatuvad mõnikord mõne miljoni valgusaastani.

Päikese ja enamiku tähtede energiaallikaks on termotuuma-reaktsioonid, mille tulemusena vesinik muundub heeliumiks. Termotuuma-reaktsioonid toimuvad tähtede sisemuses temperatuuril mõnikümmend miljonit kraadi.

- 1. Veega parallaks on 0",11. Kui kaua tuleb valgus Veegalt Maale?
2. Mitu aastat tuleks lennata kiirusega $30 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ Lüüra tähtkuju poole, et jõuda Veegale poole lähemale?
3. Mitu korda on 3,4 tähesuurune täht nõrgem Siirusest, mille näiv tähesuurus on -1,6?
4. Millega võrduvad ülesandes 3 nimetatud tähtede absoluutsed tähesuurused, kui mõlemate kaugus on 3 pc?
5. Kui suur on ζ Skorpionis absoluutne heledus, kui tema näiv tähesuurus on 3 ja kaugus 7500 va.?

25. KAKSIKTÄHED. TÄHTEDE MASSID.

1. Visuaalsed kaksiktähed. Massi, ühte tähtsamat tähtede füüsilist karakteristikut, saab määrata ainult tema mõju kaudu teiste kehade liikumisele. Nendeks teisteks kehadeks on mõnede tähtede kaaslased, mis tiirlevad koos põhitähega ühise masskeskme ümber.

Kui te vaatate Suure Vankri ζ , mis on teine täht «kopsiku käepidemel» otsast arvates, siis normaalse nägemise korral näete tema lähedal teist nõrka tähekest. Seda märkasid juba vanad araablased ja andsid talle nimeks Alkor (Ratsanik). Heleda tähe nimeks pandi Miitsar. Neid tähti võib nimetada kaksiktähtedeks. Miitsari ja Alkori vaheline kaugus on 11'. Binokliga võib leida palju taolisi tähti. Nii koosneb ϵ Lüüras kahest ühesugusest neljanda tähesuurusega tähest, mille kaugus teineteisest on 5'.

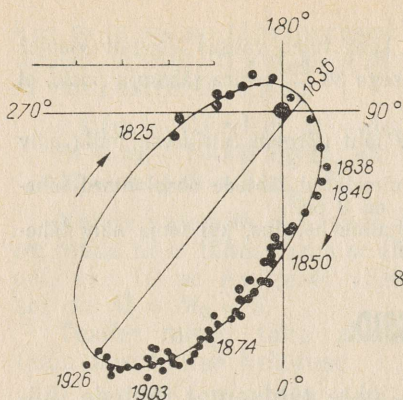
Kaksiktähti nimetatakse visuaalseteks, kui nende kaksiksust saab märgata vahetult teleskoobiga vaadates (harukordadel ka palja silmaga). ϵ Lüüras on visuaalne neliktäht. Kolmest või enamast tähest koosnevat süsteemi nimetatakse mitmiksisüsteemiks.

Paljud visuaalsed kaksiktähed osutuvad optilisteks kaksiktähtedeks, s. t. sellised kaks tähte on omavahel lähedased nende juhusliku projektsiooni tõttu taevafäärile, kuid ruumis on nad teineteisest kaugel. Palju aastaid kestvate vaatluste põhjal võib veenduda, et üks täht liigub sirgjooneliselt ja ühtlaselt teisest tähest mööda.

Mõnikord selgub, et nõrgem täht — kaaslane — tiirleb heledama tähe ümber. Tähtedevahelised kaugused ja neid ühendava sirgjooni suund muutuvad süstemaatiliselt.

Tuntud vene teadlane F. v. Struve avastas ja uuris paljusid kaksiktähti. Tuntud visuaalsete kaksiktähtede lühim tiirlemisperiood on 5 aastat. Uuritud on kümnetesse aastatesse ulatava tiirlemisperioodiga tähepaare. Sadade aastate pikkuste tiirlemisperioodidega paare uuritakse tulevikus. Meile lähim täht α Kentauris on kaksiktäht, mille tiirlemisperiood on 70 aastat. Mõlemad selle paari tähed on massilt ja temperatuurilt Päikesega sarnased.

Harilikult ei asetse peatäht kaaslase liikumisest kujundatud ellipsi fookuses, sest me näeme kaasiase orbiiti moonutatud pro-



80. Kaksiktähe (γ Neitsis) kaaslane orbiit põhitähe suhtes. Punktid tähistavad kaaslane asukohti vastavalt aastail. Punktide hajuvus on tingitud mõõtmisvigadest. Joonise mõõdud vastab $1''$.

jektsoonis (joon. 80). Geomeetria tundmine võimaldab aga taastada orbiidi tõelise kuju ja mõõta tema suuremat pooltelge a kaaresekundites. Kui on teada kaksiktähe kaugus D parsekites ja orbiidi pikem pooltelg kaaresekundites a'' , siis pikema pooltelje pikkus A astronoomilistes ühikutes on

$$A = a'' D, \text{ sest } a'' : p'' = A : 1 \text{ ja } 1 : p'' = D \text{ pc.}$$

Võrreldes tähe kaaslane liikumist Maa liikumisega ümber Päikese, võime Kepleri III seaduse põhjal kirjutada, et

$$\frac{m_1 + m_2}{A^3} T^2 = \frac{m_P + m_M}{1^3} 1^2, \text{ kus}$$

m_1 ja m_2 on tähepaari moodustavate tähtede massid, m_P — Päikese mass, m_M — Maa mass ja T — tähepaari tiirlemisperiood aastates. Jättes Maa massi (Päikese massiga võrreldes on see väike) arvestamata, saame tähepaari moodustavate tähtede summaarse massi Päikese massides:

$$m_1 + m_2 = A^3 : T^2.$$

Et leida kummagi tähe massi eraldi, tuleb uurida mõlema tähe liikumist ümbritsevate tähtede suhtes ja arvutada tähtede kaugused A_1 ja A_2 ühisest masskeskmest. Sel juhul saame teiseks võrrandiks

$$m_1 : m_2 = A_2 : A_1$$

ja kahe võrrandiga süsteemist leiame kummagi tähe massi.

Sageli pakuvad kaksiktähed teleskoobis ilusat vaatepilti, kus peatäht on kollane või oranžikas ja kaaslane valge või sinakasvalge. Kujutage endale ette värvirikust planeedil, mis tiirleb ümber kaksiktähe — taevast särab kord punane, kord helesinine Päike, kord mõlemad.

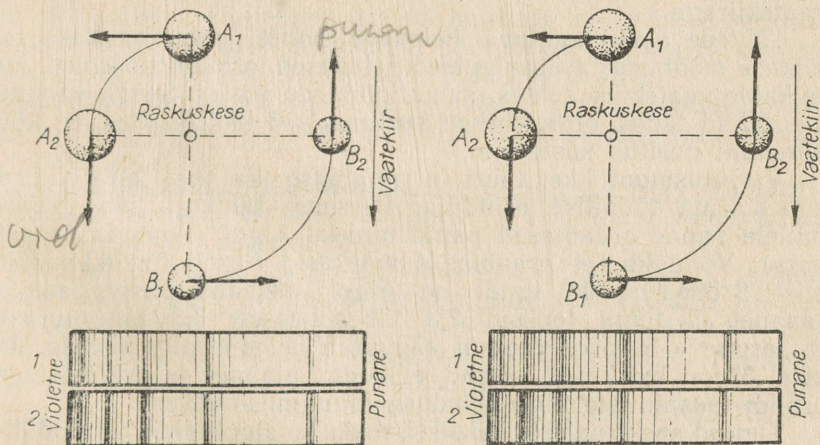
- ▶ 1. Kaksiktähe tiirlemisperiood on 100 aastat, näiva orbiidi pikem pooltelg $a=2''$ ja parallaks $p=0'',05$. Leidke tähtede summaarne mass ja kummagi tähe mass, kui nende kaugused masskeskmest suhtuvad nagu 1 : 4.
- 2. Arvutage kaksiktähe tiirlemisperiood, kui teda moodustavad Päike ja Maa asemel olev Päikese massiga võrdne täht.

2. Spektraalsed kaksiktähed. Kui tähed vastastikusel tiirlemisel asetsevad üksteise lähedal, pole neid võimalik eraldada isegi kõige tugevama teleskoobiga.

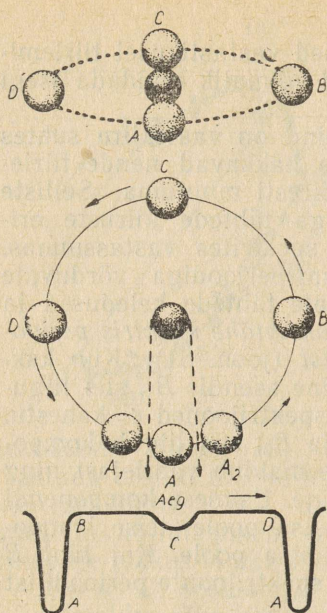
Kui aga nende tähtede orbiidi tasapind on vaatekiire suhtes küllalt kaldul ja tiirlemiskiirus suur, siis hakkavad nende tiirlemiskiiruste projektsioonid vaatekiirele kiiresti muutuma. Selliste kaksiktähtede spektrid kattuvad. Kuna aga tähtede kiiruste erinevus on suur, nihkuvad jooned nende spektrites vastassuunas. Nihke suurus muutub tähepaari tiirlemisperioodiga võrduvate ajavahemike järel. Kui paari moodustavate tähtede heledused ja spektrid on sarnased, siis täheldatakse kaksiktähe spektris perioodiliselt korduvat spektrijoonte kahestumist (joon. 81). Kui kaksiktähe üks komponent on asendis A_1 , teine asendis B_1 , siis liiguvad nad mõlemad risti vaatekiirega ja spektrijooned ei kahestu. Kui aga komponendid on asendites A_2 ja B_2 , siis liigub komponent A_2 vaateleja poole ja komponent B_2 eemaldub vaatelejast ning sel juhul toimub spektrijoonte kahestumine. Esimese komponendi spektrijooned nihkuvad spektri violetse otsa poole, teise komponendi spektrijooned aga spektri punase otsa poole. Kui täht B helendub nõrgalt, on näha ainult tähe A spektrijoonte perioodilist nihkumist.

Üks Miitsari komponentidest on ka ise spektraalne kaksiktäht.

3. Varjutusmuutlikud tähed -- algoliidid. Kui spektraalse kaksiktähe orbiit langeb peaaegu ühte vaatekiirega, siis hakkavad selle paari tähed järgemööda teineteist varjutama. Selliste



81. Kaksiktähtede spektrijoonte kahestumise selgitus. Parempoolsel joonisel on üks komponenttäht peaaegu nähtamatu.



82. Varjutuskaksiku tähe Algoli tähtede asend orbiidi tasapinnas ja viimase kalde puhul meie suhtes, ning heleduse muutumise kõver.

varjutuste ajal hakkab paari heledus kahanema, sest komponente me eraldi ei näe. Kahe teineteisele järgneva varjutuse vaheajal on heledus muutumatu, ja seda kauem, mida lühem on varjutuste kestus ning mida pikem on orbiidi raadius (joon. 82). Süsteemi heledus muutub vähe, kui hele täht varjutab mõõtmelt suure, ent heleduselt nõrga kaaslaste.

Tähtede heleduse miinimum vastab tähtede liikumisele risti vaatekiirega.

Tähtede ajas muutuva heleduse põhjal saab kindlaks teha tähtede mõõtmised ja absoluutsed heledused, orbiidi mõõtmised, kuju ja kalde vaatekiire suhtes, samuti tähtede massi. Seega varjutusmuutlikud tähed, olles ühtlasi spektraalsed kaksiktähed, on kõige paremini uuritud süsteemid.

Varjutusmuutlikke tähti nimetatakse ka veel algoliidideks oma tüüpilise esindaja, Perseuse tähtkuju tähe β järgi, millele vanad araablaste panid nimeks Algol (tähendab «saatanat»). Võimalik, et araablaste märkasid Algoli imeilikku käitumist: 2 ööpäeva 11 tundi on Algoli heledus püsiv, seejärel kahaneb 5 tunni jooksul 2,3 tähesuuruselt 3,5 tähesuuruseni ja järgneva 5 tunni jooksul saavutab heledus algväärtuse. Joonisel 82 on kujutatud Algoli süsteem plaanis ja projektsioonis orbiidi tasapinnale ning heleduse muutumise kõver.

Tuntud spektraalsete kaksiktähtede ja algoliidide perioodid on põhiliselt lühikesed, mõne ööpäeva pikkused. Tähtede kaksiksus on väga levinud nähtus ja tõenäoliselt on 30% tähtedest kaksiktähed.

Spektraalsete kaksiktähtede ja varjutusmuutlike tähtede analüüsist saadud andmeid üksikute tähtede ja nende süsteemide kohta võib nimetada «nähtamatu astronoomia» näideteks.

4. **Tähtede mass.** Tähtede massi määramine eespool kirjeldatud meetoditega näitas, et massilt erinevad tähed palju vähem kui heleduselt. Tähtede mass on umbes 0,1 kuni 100 Päikese massi. Suuri masse võib kohata haruharva. Tavaliselt on tähtede mass väiksem viiest Päikese massist. Me näeme, et absoluutse heleduse ja temperatuuri poolest on meie Päike keskmine reatäht ja ei paista teiste tähtede hulgas silma mitte millegi erilisega.

26. MUUTLIKUD TÄHED JA NOOVAD (UUED TÄHED).

1. **Muutlikud tähed.** Maal asuv vaatleja näeb algoliidide heleduse muutumist tähtede perioodilise varjutuse tõttu. Ruumpunktidest, kust paistab antud algoliidi orbiit suure nurga all, pole näha mingit varjutust ega heleduse muutust. On olemas aga terve hulk füüsiliselt muutlikke tähti, mille heledus muutub tegelikult — muutub nende valgustugevus.

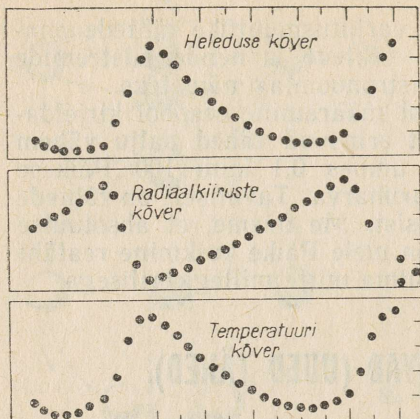
Ühtedel muutub heledus perioodiliselt, teistel korrapäraselt, s. t. sagedasti muutuva perioodilisusega. Kõigile füüsiliselt muutlikele tähtedele on tüüpiline, et koos heleduse muutumisega kaasnevad ühed või teised muutused spektris, s. t. nende atmosfääri ja fotosfääri olekutes.

Perioodiliselt muutuvatel tähtedest on hämmastavad tsefeiidid. Tsefeidide iseloomustab heleduse muutuse amplituud, mis pole suurem kui 1,5 tähesuurust, ja kümnetest minutitest kuni mõnekümne ööpäevani kestev heleduse muutumise periood. Periood on palju aastaid sekundi murdosade täpsuseni muutu-matu, nii et selle järgi võiks kontrollida kasvõi kella.

Tsefeiidid on valged või kollased tähed. Nende heledus kasvab sujuvalt maksimumini ning seejärel kahaneb veelgi aeglasemalt ja samuti sujuvalt.

Oma nime said tsefeiidid tüüpilise esindaja δ Kefeuses järgi. δ Kefeuses periood on 5,37 ööpäeva ja amplituud muutub 4,6 tähesuurusest 3,7 tähesuuruseni.

Joonisel 83 on kujutatud perioodi osades heleduse ja sellega kaasnevad märgatavad radiaalkiiruse ning temperatuuri muutused. Temperatuuri muutumise tõttu muutub mõnevõrra ka tsefeidi spektriklass. Lõplikult mõistatati nende muutuste põhjused suhteliselt hiljuti. Lahendus on selles, et tsefeiidid on pulseerivad tähed — nad paisuvad ja tõmbuvad kokku perioodiliselt. Valgust kiirgava fotosfääri ja spektrijoonte nihet põhjustava kromosfääri paisumine ei toimu üheaegselt. Väliskihtide kokkusurumine põhjustab nende kuumenemise, kõrgeim temperatuur aga vastab vaatleja poole pööratud kromosfääri pinna



83. Tsefeiidide heleduse, radiaalkiiruse ja temperatuuri kõverad. Abstsiss-teljel on antud aeg perioodi kümnendikes.

suurimale lähenemiskiirusele. Radiaalkiiruste kõikumisi tsefeiidide spektrites uuris esimesena A. Belopolski.

Tsefeiidid jagunevad kahte rühma: üheperioodilised ehk RR Lüüra tüüpi tähed, mille perioodid on lühemad kui üks ööpäev, ja klassikalised ehk pikaperioodilised, mille perioodid on pikemad kui kaks ööpäeva. Lühiperioodilised tsefeiidid on valgemad ning kuumemad ja neil kõigil on ühesugune absoluutne tähesuurus $M = 0,5$, mis järeldub valemist (4).

Klassikalised tsefeiidid on kollakamad ja külmemad. Nende tähelepanuväärivaks omapäraks on see, et kõik nad on ülihiidud ja nende absoluutne heledus kasvab sujuvalt koos perioodi pikenedamisega, s. t. et kõige aeglasemalt muutuvad tsefeiidid on kõige heledamad. Umbes poolesaja aastase perioodi puhul on nad 10 000 korda heledamad kui Päike.

Leides tsefeidi absoluutse heleduse tema perioodi järgi, saab absoluutse ja näiva heleduse võrdlusest määrata tsefeidi kauguse valemiga $\log D = 0,2(m - M) + 1$.

Isegi kõige nõrgemate tsefeiidide heleduse muutumist määratakse hõlpsasti otsese vaatlusega, mistõttu tsefeiidide nimetatud omadused on eriti tähtsad nii meie kui ka teiste tähesüsteemide mõõtmete ja nende kauguste määramisel. Heledad tsefeiidid — hiidud — paistavad meile kaugelt nagu universumi majakad. Nende järgi visandataksegi meie universumi kontuurid, mis annab ettekujutuse universumi ulatusest erinevates suundades.

Tsefeiidide pulsatsiooni periood osutub pöördvõrdeliseks ruutjuurega nende tihedusest. See ja teised keerukad muutused tsefeiididel said selgituse tsefeiidide pulsatsiooni füüsikalises teoorias.

Perioodilise või korrapäratu pulsatsiooniga selgitatakse ka

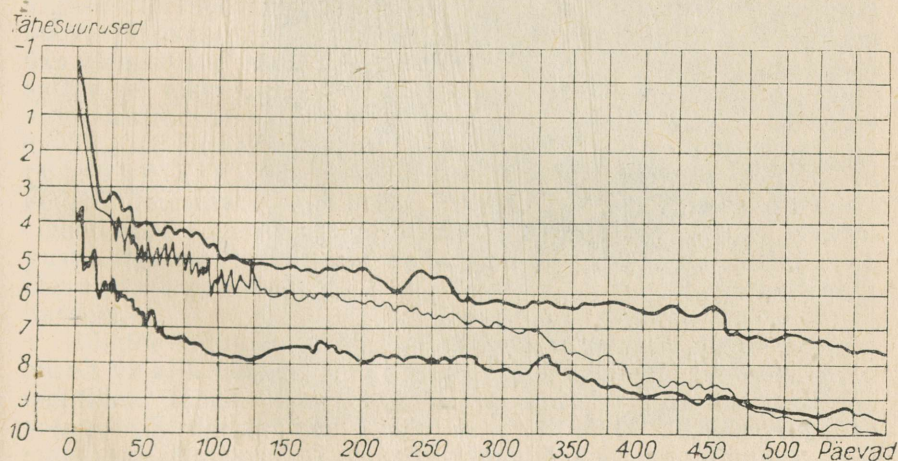
mõningate teiste, veelgi külmemate ja punakamate tähtede muutlikkust.

2. Noovad. Noovade nimetamine «uuteks tähtedeks» on säilinud iidsetest aegadest, mil neid tähti peeti tõepoolest uuteks. Kogutud fotode kollektsioonidelt oli näha, et nõndanimetatud uus täht oli tegelikult olemas ka varem, kuid süttis ootamatult, mille tulemusena tema heledus kasvas lühikese ajaga kümneid tuhandeid kordi. Pärast süttimist hakkab taastuma tähe esialgne heledus. Noovade heleduse muutumise amplituud on 7–14 tähesuurust, s. t. kuni 400 000 korda. Heleduse maksimumi korral on nende absoluutsed tähesuurused –6 kuni –9. Võimalik, et noovade süttimine kordub tuhandete aastate tagant. Heledamaid noovaid, mille heledused maksimumis saavutasid esimese tähesuuruse, on nähtud harva, näiteks 1901., 1918. ja 1925. aastal.

Kuna taolised süttimised toimuvad ootamatult, on noovade avastamine juhuslik. Enamikul juhtudel avastavad neid asjaarmastajad astronoomid ja mõnikord kooliõpilased. Selleks tuleb sagedasti vaadelda Linnutee lähedasi tähtkogusid. Ärge aga pidage planeeti noovaks!

Tavaliselt toimub noova süttimine mõne päevaga, katastroofiliselt, kuid esialgse heleduse omandab ta aastate pärast ja sellega kaasneb heleduse kõikumine (joon. 84). Tähe katastroofiline süttimine, millega üheaegselt vabaneb energia, mis võrdub Päikeselt miljoni aasta jooksul kiiratava energiaga, toimub mingite sisemiste protsesside toimeil. Taoline ebapüsiv olek kujuneb aastate või sajanditega ning seejärel toimub plahvatus.

Muutused noova spektris näitasid, et tähe heledus kasvab tema fotosfääri paisumise — tähe pinna suurenemise tõttu. Heleduse



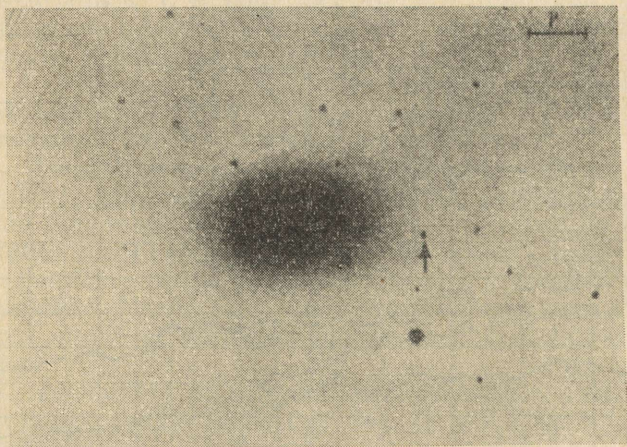
84. Kolme noova heleduse muutumise kõverad.

maksimumil on noova diameeter suurem Maa orbiidi läbimõõdust. Suurima heleduse momendil kistakse tähelt lahti välimine kiht, mis paisudes sööstab kiirusega umbes $1000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ maailmaruumi. Noovadena plahvatavad ainult väga kuumad ja paraja heledusega tähed, nii et meie Päikest plahvatus ei ähvarda.

- ▶ Noovadel kasvab heledus muutumatu temperatuuri juures tavaliselt fotosfääri paisumise tõttu. Mitu korda on kasvanud noova raadius, kui tema heleduse muutumise amplituud on 10 tähesuurust?

3. Supernoovad. Mõned erilised tähed süttivad ootamatult ja kustuvad samuti nagu noovadki, kuid heleduse maksimumis on nad sadu kordi noovadest heledamad, —11 kuni —18 tähesuurust. Neid tähti nimetatakse supernoovadeks. Gaaside väljapaiskumise kiirus on neil samuti palju kordi suurem kui noovadel. Supernoovade vähenenud uuritus seletub asjaoluga, et pärast teleskoobi avastamist pole meie «naabruses» süttinud ükski täht. Jälgitud on ainult väga kaugeid supernoovasid, millel ei saa teha kindlaks muud kui ainult heleduse muutumist maksimumi läheduses.

Tohutu suure heleduse tõttu, mis maksimumis ületab kümneid tuhandeid kordi tavalise tähe absoluutse heleduse, näeme me teistesse tähesüsteemidesse kuuluvaid hiiglakaugeid supernoovasid (joon. 85). Nende tähesüsteemide kaugusi hinnatakse supernoovade heleduse järgi. Supernoovad süttivad äärmiselt harva, keskeltläbi üks kord mitmesaja aasta jooksul, ja seda süsteemis, mis sisaldab miljardeid tähti.



85. Ülesvõte (negatiiv) tähesüsteemist — galaktikast. Noolega on märgitud supernoova. Fotol on näidatud nurkmastaap.



86. Krabikujuline udukogu.

Juba enne teleskoobi avastamist nähti meie tähesüsteemis kolme tähte, mis kahtlemata olid supernoovad. Sõnni tähtkujus on praegu kohal, kus 1054. aastal süttis üks nendest supernoovadest, nõrgalt helenduv udukogu, mida nimetatakse Krabitaoliseks (joon. 86). See koosneb ioniseeritud gaasist, mis soonekestena tungib läbi tema põhilisest amorfsest massist. Eri aastatel tehtud fotode võrdlemisel selgus, et Krabitaoline udukogu paisub kiirusega $1000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$. Tema paisumine ja järelkult ka tekkimine sai alguse supernoova süttimise aastal. Udukogu paisati välja supernoova plahvatamisel. Hiljem selgus, et Krabitaoline udukogu on üks võimsamaid raadiokiirguse allikaid. Raadiokiirgust põhjustab süttimisel tekkinud, valguse kiirusele lähedaste kiirustega liikuvate elektronide pidurdumine udukogu magnetväljas. Sellist raadiokiirgust nimetatakse mittesoojuslikuks — täpsemalt sünkrotronikiirguseks. Krabitaoline udukogu osutus ka üheks kõige võimsamaks kosmiliseks röntgenikiirguse allikaks. Ka teiste «lähedaste» supernoovade süttimiskohtades on leitud raadiokiirgust kiirgavad ja paisuvad udukogud. Supernoovade süttimine on taevakehadega toimuvatest katastroofidest kõige grandioossem ja harvem.

Kõikide muutlike tähtede ja noovade tundmaõppimine on äärmiselt vajalik tähtede loomuse ja evolutsiooni mõistmiseks, kuna muutlikud tähed, ja eriti noovad, on ebapüsivates olekutes oma arengu pöördeetappidel. Peale selle on nende tähtede tugevad muutused jälgitavad. Tavalistel tähtedel pole see võimalik, sest nendes toimuvad muutused liiga aeglaselt.

27. TÄHTEDE KARAKTERISTIKUTE MITMEKESISUS JA NENDE SEADUSPÄRASUSED.

1. Tähtede diameetrid ja tihedused. Tähtede diameetrid arvutatakse põhiliselt nende temperatuuri ja bolomeetrilise absoluutse heleduse kaudu. Bolomeetriline absoluutne heledus määratakse tähe valgustugevusega kõigi spektri lainepikkuste kohta, kaasa arvatud ka spektri nähtamatu osa. Tähe bolomeetriline absoluutne heledus määratakse Päikese bolomeetrilise absoluutse heleduse suhtes. Tähe bolomeetrilist absoluutset heledust võib arvutada mistahes temperatuuri jaoks, kui on teada tähe poolt mingis spektri osas kiiratud energiahulk.

Illustreerime lihtsa näitega, kuidas saab võrrelda ühesuguse temperatuuriga tähtede, näiteks Päikese ja Kapella (α Veomehes), mõõtmeid. Nendel tähtedel on ühesugused spektrid, värvus ja temperatuur, kuid Kapella absoluutne heledus on 120. Kuna sama temperatuuriga tähtede pinnaühiku heledused on võrdsed, siis Kapella pind peab olema Päikese pinnast 120 korda ja diameeter või raadius $\sqrt{120} \approx 11$ korda Päikese omast suurem.

Oma omadustelt on tähed lähedased parimale kiirgajale, mille 1 cm^2 suuruselt pinnalt kiirgunud koguenergia $i = \sigma T^4$, kus σ on võrdetegur ja T — absoluutne temperatuur. Teadaoleva temperatuuriga T tähtede suhteline diameeter leitakse valemist:

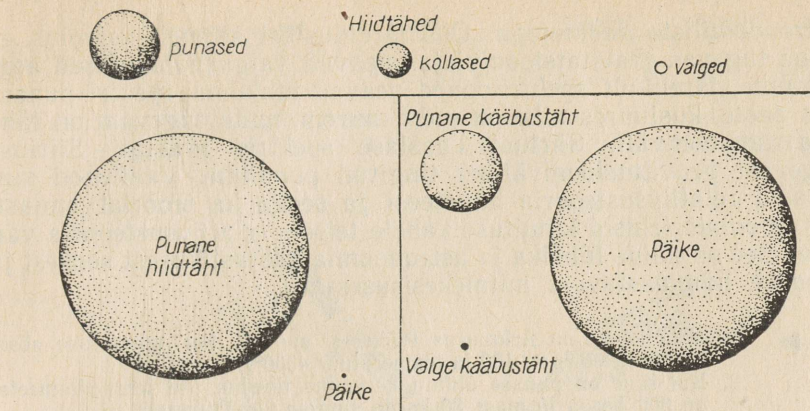
$$\frac{L}{L_0} = \frac{4\pi r^2}{4\pi r_0^2} \cdot \frac{i}{i_0} = \left(\frac{r}{r_0}\right)^2 \left(\frac{T}{T_0}\right)^4,$$

kus r on tähe raadius ja i tema pinnaühiku kogukiirgus. Suurused r_0 , i_0 ja T_0 iseloomustavad Päikest. Viimasest valemist järeldub, et $r = \sqrt{L} : \left(\frac{T}{T_0}\right)^2$, mõõdetuna Päikese raadiustes.

Taolistest arvutustest saadud tulemused langesid täielikult kokku tähtede nurkdiameetrite mõõtmisest saadud tulemustega (mõõdetakse erilise riista — täheinterferomeetriga).

Väga suure valgustugevusega tähti nimetatakse ülihiidudeks. Punased ülihiidud on ka mõõtmelt väga suured (joon. 87). Betelgeuse ja Antaarese diameetrid on Päikese omast 300—400 korda suuremad. Meist kaugemal asuva VV Kefeuse mõõtmed on sellised, et tema sisse mahuks Päikesesüsteem kuni Jupiterini (viimane kaasa arvatud). Ülihiidude ruumalad on Päikesega võrreldes veelgi suuremad.

Ülihiidude massid on aga Päikese massist kõigest 30—40 korda suuremad. Osutub, et punastel ülihiidudel on isegi keskmine tihedus tuhandeid kordi väiksem õhu tihedusest toas. Sama absoluutse heleduse korral on tähtede mõõtmed seda väiksemad, mida kuumemad ja valgemed need tähed on. Tavaliste tähtede



87. Päikese, kääbus- ja hiidtähte suhtelised suurused.

hulgas on punased kääbused kõige väiksemad. Nende tähtede massid ja raadiused moodustavad kümnendikke osad Päikese massist ja raadiusest, keskmised tihedused on aga umbes $10-100 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$.

Punastest kääbustest veelgi väiksemateks osutusid valged kääbused. Meile lähedal oleval heledal Siiriusel on kaaslane, mis tiirleb ümber Siiriuse 50-aastase perioodiga. Selle kaksiktähe kaugus, orbiit ja komponentide massid on hästi teada. Mõlemad on valged ja peaaegu niisama kuumad, kuid absoluutselt heleduselt on kaaslane Siiriusest 10 000 korda nõrgem. Tähendab, et kaaslane raadius on $\sqrt{10\,000} = 100$ korda väiksem ja peaaegu niisama suur kui Maal. Mass on aga peaaegu niisama suur kui Päikesel! Järelikult on valge kääbuse tihedus hiiglasuur ($3 \cdot 10^7 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$).

Nii suure tiheduse olemasolu selgitatakse järgmiselt: tavaliselt määravad tiheduse piiri aatomite — tuumast ja elektronkattest koosnevate süsteemide mõõtmed. Väga kõrgetel temperatuuridel tähtede sisemuses ja täielikul ionisatsioonis muutuvad tuumad ja elektronid üksteisest sõltumatuteks. Kõrgemalasuivate kihtide kolossaalsel rõhul võib olla see aatomitest «pudi» palju tugevamalt kokku surutud kui neutraalne gaas. Teoreetiliselt on mõnedel tingimustel võimalikud tähed tihedusega $10^{13} \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$, mis võrdub aatomituumade tihedusega.

Valgete kääbuste näite varal näeme me veel kord, kuidas astrofüüsikalised uurimused laiendavad kujutlusi aine ehiusest.

Füüsikule on tohutult tähtis Einsteini relatiivsusteooria, millest tulenevad kolm järeldust. Neid oli võimalik kontrollida ainult

astronoomiliste andmetega. Üks järeldustest seisneb asjaolus, et väga tugevas gravitatsiooniväljas peavad valgusvõnkumised aeglustuma, järelikult spektrijooned peavad nihkuma spektri punase osa poole, kusjuures nihe on seda suurem, mida tugevam on tähe gravitatsiooniväli. Siirise kaaslase spektris avastati Siirise tugevast gravitatsiooniväljast tingitud punanihe. Vaatlused kinnitasid relatiivsusteooria hüpoteesi ja seega ka teooriat ennast. Astronoomid leidsid kinnituse kahele teisele relatiivsusteooria väitele. See on näide füüsika ja astronoomia vastastikusel seosel ja looduse hämmastavast mitmekesisusest.

- ▶ 1. Mitu korda on Arktuurus Päikesest suurem, kui Arktuuruse absoluutne heledus on 100 ja temperatuur 4500°?
- 2. Kui suur on punase ülihiini keskmine tihedus, kui tema diameeter on 300 korda ja mass 30 korda suurem kui Päikesel?

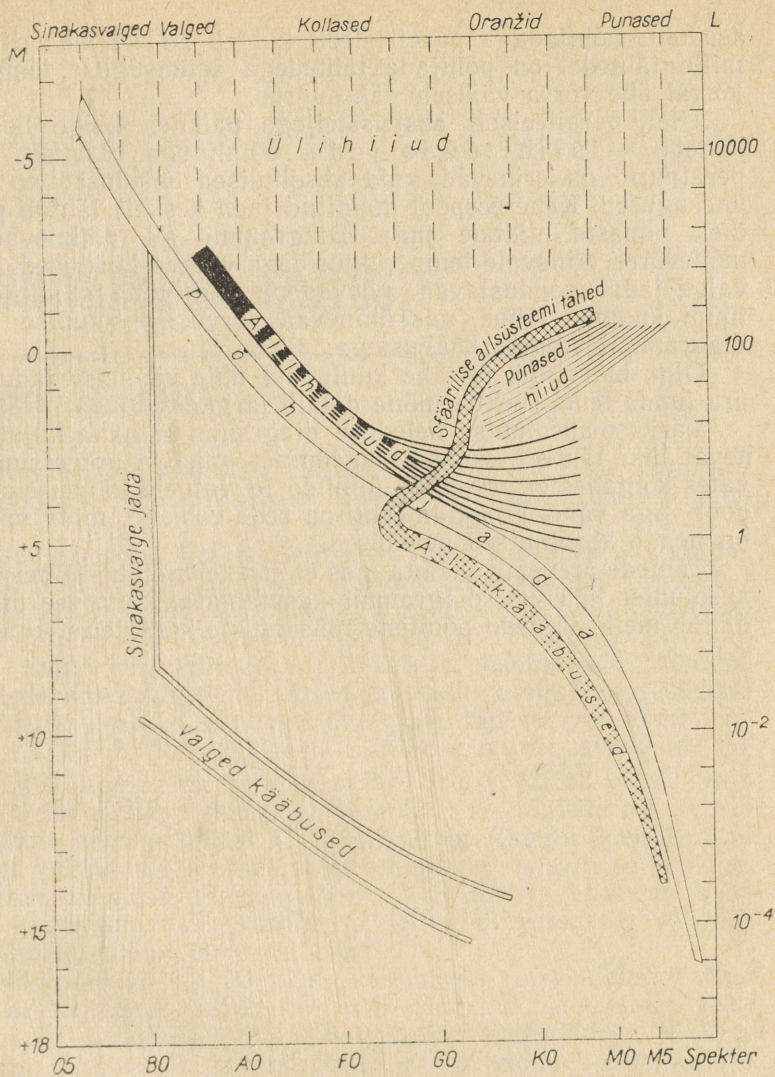
2. Tähtsamad seaduspärasused. Me nägime, et on olemas üksik-, kaksik- ja mitmiktähti, erinevat liiki muutlikke tähti, noovasad ja supernoovasad, ülihiide ja kääbustähti, mitmesuguste mõõtmetega, absoluutsete heledustega, temperatuuride ja tihedustega tähti. Kas nende füüsikalised karakteristikud moodustavad kaose? Osutub, et ei. Varem kirjeldatud andmete üldistamisest on kindlaks tehtud rida seaduspärasusi.

Kandes graafikule punktid, mis kujutavad tuntud masside ja absoluutsete heledustega tähti, veendume, et tähtede massi suurenemisega kasvab kiiresti ka tähtede absoluutne heledus, $L \sim m^{3,9}$.

Selle nn. massi-absoluutse heleduse sõltuvuse põhjal võib määrata üksiku tähe massi, kui on teada tema absoluutne heledus (sellele sõltuvusele ei allu valged kääbused).

Kõige levinumate tähtede jaoks kehtib seos $L = R^{5,2}$, kus R on tähe raadius. Kõikidel juhtudel võetakse arvesse tähtede bolomeetiline absoluutne heledus. Eelnevad valemid näitavad, et nendes sisalduvad tähtede füüsikalised karakteristikud on omavahele seotud.

Erakordselt suurt huvi pakub tähtede absoluutsete heleduste kõrvutamine nende temperatuuri ja värvusega. See sõltuvus on toodud värvuse-absoluutse heleduse diagrammil (Hertzprung-Russelli diagramm, joon. 88). Selle diagrammi ordinaatteljele on kantud absoluutse heleduse logaritmid või suuruse M absoluutväärtused. Abstsissiteljele kantakse kas tähtede spektriklassid, nendele vastavad värvused või tähtede temperatuuri logaritmid. Tuntud karakteristikutega tähtedele vastavad punktid ei asu diagrammil kaootiliselt, vaid kindlatel joontel — jadadel. Enamik tähti asub kaldjoonel, mis suundub ülalt vasakult paremale alla. Selles suunas vähenevad samaaegselt tähtede absoluutsed heledused, raadiused ja temperatuurid. See on põhja ja da, millel on ristikesega märgitud Päikese kui kollase kääbuse



88. Tähtede värvuse-absoluutse heleduse diagramm (skemaatiline). Paremt vasakule kasvab tähtede temperatuur.

asukoht, Põhijadaga paralleelseid kulgeb allkääbuste jada, mille tähtedel on põhijada tähtedega samasuguse temperatuuri korral ühe võrra väiksem tähesuurus.

Ülal, paralleelselt abstsisssteljega paikneb kõige heledamate tähtede — ülihiidude jada. Ülihiidude värvused ja temperatuurid on erinevad, kuid absoluutsed heledused on peaaegu ühesugused. Kahe eespool mainitud jada keskelt lähtub paremale üles punaste hiidude jada. Diagrammi all paiknevad lõpuks mõnevõrra erinevate temperatuuridega valged kääbused. Sinakasvalge jada moodustavad noovadena süttivad ja mingit muud tüüpi kuumad tähed, mis ühinevad värvuse-absoluutse heleduse diagrammil valgete kääbustega.

Olgu märgitud, et tähe kuuluvust ühte või teise jadasse võib ära tunda tema spektri mõne detaili järgi.

Värvuse-absoluutse heleduse diagramm ei anna kujutlust erinevat liiki tähtede esinemissagedusest, mis on universumi erinevates kohtades erinev, kuid ülihiide ja valgeid kääbuseid on igal pool väga vähe. Põhijada tähti on seda rohkem, mida väiksemad on nende absoluutsed heledused.

Tähtede arenemise kohta ajas ei saa teha oletusi ilma värvuse-absoluutse heleduse diagrammi kasutamata, kuna see diagramm näitab meile tähtede põhiliste füüsikaliste karakteristikute seost.

V. UNIVERSUMI EHITUS.

28. MEIE GALAKTIKA.

1. Linnutee ja Galaktika. Teadus käis läbi pika tee, enne kui selgitas välja meid ümbritseva universumi tõelise ehituse piirjooned.

Inglise teadlane William Herschel näitas esimesena, kuidas loendada tähti taeva väikestes, valitud piirkondades. Herschel eeldas, et tähed ei sarnane Päikesega mitte ainult oma loomuselt, vaid ka absoluutselt heleduselt. Tema eluajal, XVIII ja XIX saj. piiril, ei teatud veel tähtede parallakse ja absoluutseid heledusi. Kui tähtede absoluutsed heledused ja nende ruumtihedus oleksid kõikjal ühesugused, siis minnes ühe näiva tähesuuruse võrra erinevate, s. t. 2,512 korda nõrgemate tähtede juurde, astuksime me sfääri, mille raadius on eelmise sfääri omast $\sqrt[3]{2,512} = 1,6$ korda suurem. Selle sfääri ruumala ja järelikult ka tähtede arv temas peaks olema eelmise omast 4 korda suurem. Tegelik loendus aga näitab, et juurdekasv on erinevates suundades isesugune ja väheneb tähtede heleduse nõrgenemisega. Võis arvata, et meie oleme tähtede universumi keskpunktis ja selles universumis väheneb tähtede tihedus kõikides suundades.

Tegelikkuses on asi hoopiski keerulisem, sest tähtede absoluutsed heledused ei ole ühesugused, erinevate heledustega tähti pole ühepalju ja lõpuks, tähtede valgus nõrgeneb tähtedevahelises kosmilises tolmus. Valgus nõrgeneb eri suundades erinevalt ja seda rohkem, mida kaugemal täht meist on. F. v. Struve avastas esimesena valguse neeldumise tähtedevahelises keskkonnas ja tõestas, et Linnutee heleda paela lähedal suureneb tähtede ruumtihedus. Linnutee pael võotab kogu taeva mööda suuringi. Tähendab, meie asume Linnutee tasandi läheduses. Seda nimetatakse galaktiliseks tasandiks. Linnutees on näha üksikuid pilvesarnaseid tihendusi (joon. 89), mis osaliselt on põhjustatud nende koostises olevate nõrkade, s. t. kaugete tähtede tegelikust pilvjast asendist, osaliselt aga asjaolust, et kohati varjab Linnuteed kosmiline tolm. Taolist tumedat pilve võib näha Luige tähtkujus



89. Osa Linnuteest palja silmaga nähtuna.

tähe Deenebi juures. Just selle tähtkuju kohalt hargneb Linnutee kaheks haruks, mis taas ühinevad taeva lõunapoolkeral. See hargnemine on näilik ja põhjustatud kosmilise tolmu kokkukujumisest, mis varjab osa kõige heledamaid kohti Linnuteest Skorpioni ja Noole tähtkujude piirkonnas.

Aegamööda selgus, et **Linnutee tähed on meie tugevasti väljavenitatud Galaktika põhiosa**. Noole tähtkuju suunas asuvast tsentrist kaugemale venib Galaktika Linnutee tasandi lähedal, ja selles suunas me näeme kõige rohkem kaugeid, s. t. nõrku tähti.

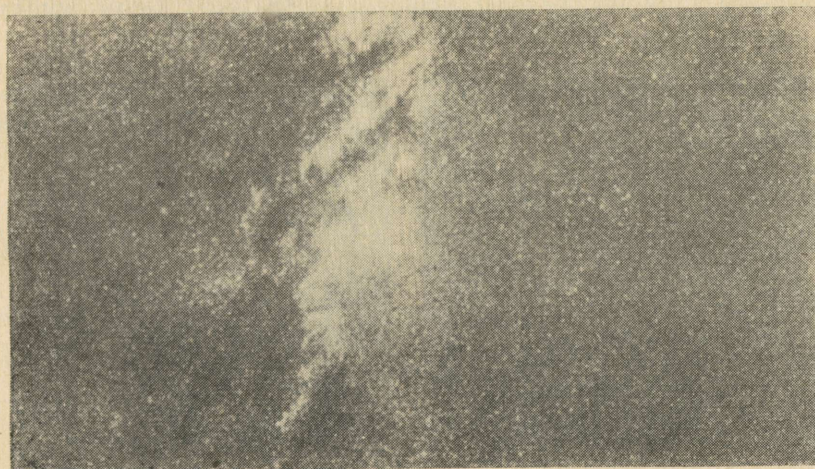
Ristsuunas tähtede tihedus väheneb ja järelikult Galaktika ei küüni selles suunas nii kaugele.

Mõnikord räägitakse vääralt, et Linnutee ongi meie Galaktika. **Linnutee on meie taevas nähtav hele vööt, kuid meie Galaktika on ruumiline tähesüsteem.** Enamikku Galaktika tähti näeme me Linnutee paelas, kuid sellega pole Galaktika ammendatud, temasse kuuluvad kõigi tähtkogude tähed.

Tähed on ära loetud kuni 21. tähesuurseni. Saadud tähtede arv on $2 \cdot 10^9$. Loomulikult ei haara see kaugeltki kogu meie tähesüsteemi «elanikkonda». Galaktika massi hinnatakse tema pöörlemise järgi (vt. § 30) ja ta on umbes $2 \cdot 10^{11}$ Päikese massi.

Galaktika kontuurid visandati kõige suurematele kaugustele paistvate kuumade ülihiidude ja tsefeiidide asukohtade järgi ruumis. Otsus, et Galaktika tsentris asub hiiglasuur täheparv läbimõõduga 1000—2000 pc. Tsenter asub meist umbes 10 000 pc (30 000 va.) kaugusel Noole tähekoogu suunas, kuid on meie eest peaaegu täiesti kaetud kosmilise tolmu pilvedest eesriidega (joon. 90). Galaktika tuuma kuuluvad punased hiid ja lühiperioodilised tsefeiidid. Neid nimetatakse II tüüpi populatsiooniks ehk vanadeks tähtedeks. Ülihiid ja klassikalised tsefeiidid moodustavad palju noorema, I tüüpi populatsiooni, mis asub tsentrist kaugemal ja moodustab väljavenitatud süsteemi. Selle väljavenitatud süsteemi keskel asub õhukese ketta kujuline tolmaine.

Värvuse-absoluutse heleduse diagrammil allkääbuste jadasse kuuluvad tähed moodustavad Galaktika tuuma ja ketta ümber hõreda krooni.



90. Ülesvõte Linnutee osast.

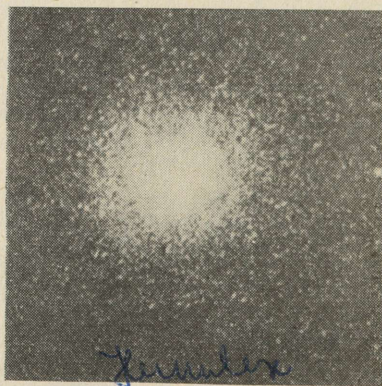
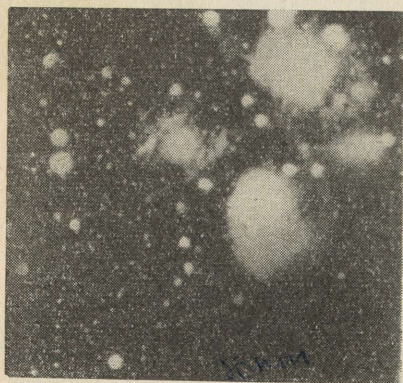
2. **Täheparved ja -assotsiatsioonid.** Täheparved jagatakse kahte liiki: hajusparved ja kerasparved. Kõrvutame nende parvede omadusi. Hajus- ehk galaktilised parved koosnevad tavaliselt kümnetest või sadadest põhijada tähtedest ja ülihiidudest, mis on tsentri suunas nõrgalt kontsentreeritud. Kerasparved koosnevad kümnetest ja sadadest tuhandetest põhijada tähtedest ja punastest hiidudest ning sisaldavad mõnikord ka lühiperioodilisi tsefiide.

Hajusparved on mõne parseki suurused. Nende näiteks on Hüaadid ja Plejaadid Sõnni tähtkujus. Kui suunata teleskoop Plejaadidele, siis palja silmaga nähtava kuue tähe asemel näeme teleskoobi vaateväljas briljantset tähepuistet. Kerasparvede mõõtem ulatuvad kümnetesse parsekitesse ja nende tähtedel on tugev kontsentratsioon tsentri suunas. Kerasparved on kõik meist kaugel ja paistavad väikeses teleskoobis udulaikudena (joon. 91, a, b). Värvuse-absoluutse heleduse diagrammid keras- ja galaktiliste parvede jaoks on täiesti erinevad, mis aitabki eristada parve liiki.

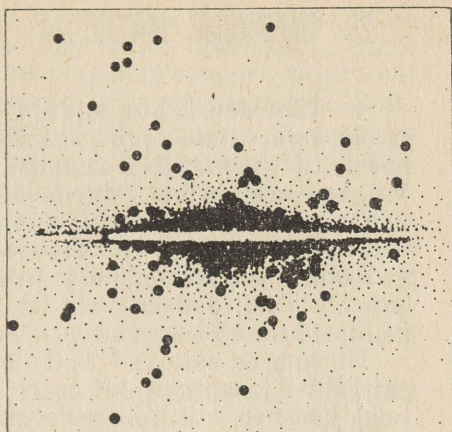
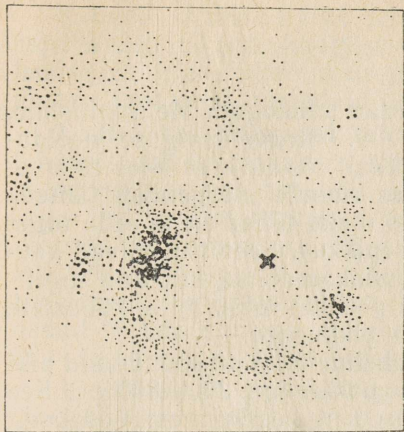
Lähemate kerasparvede kaugusi määratakse nendes leiduvate lühiperioodiliste tsefiidide järgi — nende näivaid heledusi võrreldakse teadaolevate absoluutsete heledustega.

Hajusparvede kauguste määramiseks koostatakse värvuse-näiva tähesuuruse ja värvuse-absoluutse tähesuuruse diagrammid ja võrreldakse neid omavahel. Ühe ja sama värvusega tähtede näiva ja absoluutse heleduse erinevuse põhjal saab arvutada tähtede kauguse.

Tuntakse üle 100 kerasparve ja ligi 500 hajusparve, kuid viimaseid peaks olema Galaktikas kümneid kordi rohkem. Me näeme hajusparvedest ainult lähemaid. Hajusparved asuvad galaktilise tasandi, Linnutee peala lähedal. Hajusparvede tähed kuuluvad



91. Täheparved. a — tähtede hajusparv — Plejaadid. Parve peatähed valgustavad neid ümbritsevat kosmilist toimu; b — tähtede kerasparv.



92. Galaktika skemaatiline kuju; *a* — Galaktika tasapinnas; *b* — vaade küljelt. On näidatud tähtede kerasparded. Ristikesega on märgitud Päikese asukoht.

I liiki populatsiooni ja nad paiknevad Galaktika kettas. Keraspardes on tähtede sfääriline jaotus tsentri poole kontsentreeruv. Kõige kaugemad kerasparded asuvad Galaktika piirimail. Nemad koos kõige kaugemate tsefeiididega määravadki Galaktika mõõtmed. Galaktika diameetrikis võib lugeda umbes 30 000 pc või 100 000 va., kuid ranget piiri tal pole. Galaktika tähtede tihedus muutub pikkamööda nulliks.

Analoogiliselt teiste tähesüsteemidega, millest tuleb juttu paragrahvis 31, võib arvata, et meie Galaktika kettas peaksid olema spiraalsed harud, mis lähtuvad tuumast ja mille lõpud kaovad (joon. 92, *a, b*). Nende harude «elanikele» on iseloomulikud kuumad ülihiidud, kuumi tähti sisaldavad hajusparved ja klassikalised tsefiidid.

Kaugusel, mis lahutab Päikesesüsteemi Galaktika tuumast, peab galaktika tasapinnas spiraalne struktuur kaduma. I liiki populatsioone teatakse olevat ainult 2–3 tuhande parseki kaugusel Päikesesüsteemist ja seepärast polegi meie Galaktika harude asukohti usaldusväärsetl kindlaks tehtud.

Taevas võib näha kuumade ülihiidude hajutatud grupe, mida nõukogude teadlane akadeemik V. Ambartsumjan nimetas O-assotsiatsioonideks. Nende assotsiatsioonide tähed asuvad üksteisest kaugel ja neid ei hoia koos vastastikune gravitatsioon, nagu see on täheparvedes. O-assotsiatsioonid on samuti iseloomulikud spiraalharude «elanikele».

- ▶ Kui kaugel on meist tähtede keraspurv, kus on näha mitut lühiperioodilist tsefiidi, mille näiv heledus on 15,5 ja absoluutne heledus 0,5? Kui suur on selle parve joondiaameeter, kui tema nurkdiaameeter on 1'? Missugune näeks välja sellisel kaugusel Päike?

29. DIFUUSNE MATEERIA.

1. Tähtedevaheline tolm ja tumedad udukogud. Me märkisime, et üle saja aasta tagasi osutas F. v. Struve valguse neeldumisele tähtedevahelises ruumis. Lõplikult tõestati see alles 1930. a. Valguse neeldumine tähtedevahelises ruumis nõrgendab tähtede valgust seda rohkem, mida kaugemal meist tähed on ja seda tugevamini, mida lühem on valguse lainepikkus. Seetõttu näivad kauged tähed kollasematena ja isegi punakamatena, kui nad tegelikult on. Taolise efekti võib tekitada peenike tolm, mille kübemete mõõtmed on võrreldavad valguslaine pikkusega.

Uurimused näitavad, et tähtedevaheline tolm on koondunud piki galaktilist tasapinda kitsasse kihli paksusega 200—300 pc. See tolm koosneb osaliselt pidevast hõredast keskkonnast, osaliselt temas ujuvatest suurema tihedusega tolmupilvedest. Keskmiselt väheneb valgus Galaktika tasapinnas 1000 pc pikkusel teel 1,5 tähesuuruse võrra. Tumeda udukogu näiteks võib olla «Hobusepea» udukogu Orioni tähtkujus (joon. 93).



93. Tume tolmudukogu «Hobusepea», mis on ümbritsetud heleda udukoguga.

Kaugete tähtede näiva heleduse vähenemise tõttu ei saa määrata täpselt tähtede kaugust nende absoluutse tähesuuruse võrdlemise teel näiva tähesuurusega. Tuleb uurida kosmilise tolmu ebaühtlast jaotumist, tumedaid udukogusid ja arvestada nende mõju.

2. Heledad difuussed tolmutudukogud. Kui suure tolmutudukogu lähedal asub hele hiidtäht, siis ta valgustab seda pilve. Pilv, peegeldades tähe valgust, võib helenduda märgatavalt. Taolise udukogu spekter langeb kokku teda valgustava tähe spektriga. Akadeemik V. Ambartsumjani arvatuste kohaselt on tähtede poolt küllaldaselt valgustatud udukogusid ainult väike osa kõikidest tumedatest tolmutudukogudest. Enamikus udukogudes on tolm segunenud hõreda gaasiga. Selliseid udukogusid nimetatakse gaasilis-tolmseteks udukogudeks.

3. Difuussed gaasudukogud. Orioni tähtkujus asub tüüpiline gaasilis-tolmne udukogu (joon. 94). Teda näeb (talvel) tugeva binokliga, kuid struktuuri on võimalik kindlaks teha ainult pildistamise teel. Gaasilis-tolmseid ja puhtaid (hõredaid) gaasudukogusid teatakse paljusid. Nad on ebakorrapärase kujuga ja kindlate piirjoonteta. Gaasudukogude spekter koosneb vesiniku, hapniku ja teiste kergete gaaside heledatest joontest. Mõned gaasid on niisuguses erilises olekus, et nad annavad spektri, mida pole maapealsetes tingimustes kunagi nähtud. Udukogude spektri kaks kõige heledamat rohelist joont omistati kaua aega oletatavale ja ainult udukogudes leiduval keemilisele elemendile «nebuliumile» (tähen-dab «udune»). Hiljem selgus, et need jooned kuuluvad kahekordselt ioniseeritud hapniku aatomile, mis kiirgab laboratooriumis saavutamatu hõreduse juures. Tõepoolest, gaasudukogude tihedus on umbes $10^{-21} - 10^{-23} \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$.

Vesinik on udukogudes peaaegu täies koguses ioniseeritud. Kõik udukogu gaasid helenduvad ainult siis, kui udukogu naabruses on väga kuum sinakasvalge täht, mille temperatuur pole alla $25\,000^\circ$. Tähe kiirgus ioniseerib vesinikku ja teisi udukogus leiduvaid gaase ning paneb nad fluorestsentsiprotsessis helenduma. Gaas neelab ultravioletseid kiiri, kiirgab aga spektri punaseid, rohelisi ja teisi jooni. Kui kuum täht äkki kustuks, lakkaks peagi ka udukogu helendmast.

Difuussed gaasudukogud moodustavad galaktilises tasapinnas kõigest umbes 200 pc paksuse kihi. Gaasudukogud kuuluvad samuti I liiki «elanike» hulka, mis on iseloomulik Galaktika spiraalharudele. Udukogude mõõtmed on mõni või mõnisada parsekit, nii et nendes võib olla «maetud» mitu tähte. Udukogude sees toimub aeglane kaootiline liikumine — turbulents.

Palju andmeid tähtedevahelise gaasi kohta saab tema raadiokiirguse uurimisest.

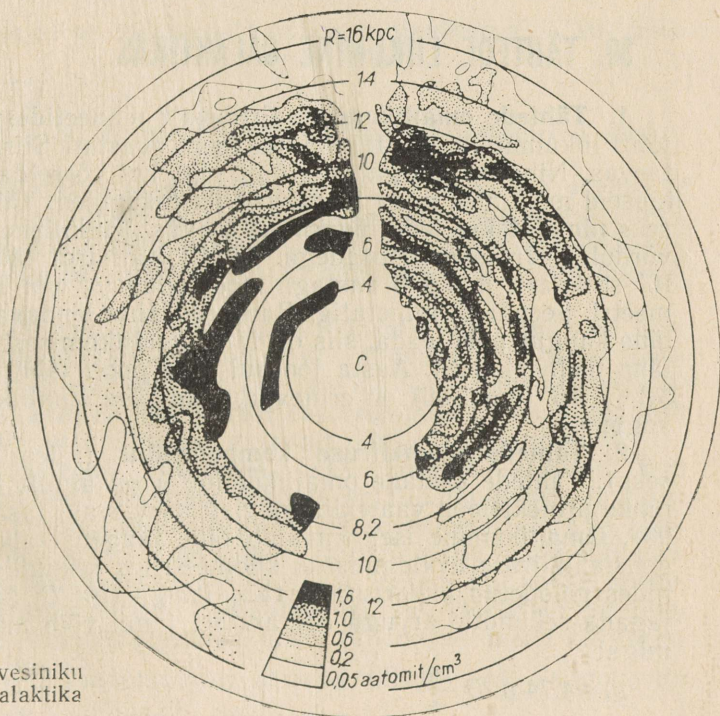
4. Neutraalne vesinik. Kuna vesinik on heledates udukogudes ioniseeritud ja helendub ainult kuumade tähtede läheduses, siis



94. Difuusne gaasilis-tolmne udukogu Orioni tähtkujus.

Galaktikas peab olema põhiline vesiniku mass neutraalne. Neutraalne vesinik kosmoses aga ei helendu ja on nähtamatu, kuid ta kiirgab 21 cm lainepikkusega raadiolaineid. Selle vesiniku spektrijoone intensiivsuse kaudu määratakse vesiniku mass ja tihedus antud suunas. Tegelikult kiiratud joone lainepikkuse erinevuse järgi 21 cm lainepikkusega joonest saab määrata Doppler-Fizout printsiibi abil vesinikupilve kiiruse. Tänapäeval on välja selgitatud vesiniku jaotuse üldine pilt Galaktikas (joon. 95). Vesinik asub peamiselt galaktilises tasapinnas õhukeses kihis. Vesiniku pilvi võib aga kohata teleskoobiga nähtavatest tähtedest palju kordi kaugemal. Neutraalse vesiniku pilve temperatuur pole keskmiselt väiksem 100° -st, kuid ioniseeritud, helenduvate pilvede (udu-kogude) temperatuur on umbes $10\,000^{\circ}$. **Vesiniku, millest 95% on neutraalne, kogumass on 2% Galaktika kogumassist, kuid kosmilise tolmu mass on sellest veel 100 korda väiksem.** Neutraalse vesiniku tihedus on vahemikus 10^{-22} kuni $10^{-25} \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$.

Tähtedevahelises ruumis leidub ka teiste keemiliste elementide aatomeid ja mõningaid lihtmolekule, kuid nende hulk on vesinikuga võrreldes väike. Need aatomid tekitavad tähtede spektrites



95. Neutraalse vesiniku jaotumine Galaktika tasapinnas.

neeldumisjooni. Kõige paremini on märgatavad naatriumi ja ioni-seeritud kaltsiumi jooned.

5. **Magnetväli, kosmilised kiired ja raadiokiirgus.** Galaktikas on üks üldine magnetväli, mille jõujooned on paralleelsed galaktilise tasapinnaga ja mis paindudes kulgevad piki Galaktika spiraalharusid. Galaktika magnetvälja tugevus on ligikaudu 10^{-6} Oe. Magnetväli hoiab ära difuusete gaasudukogude hajumise suundades, mis on jõujoontega risti. Samuti hoiab magnetväli kinni supernoovade süttimisel tekkinud kosmilisi kiiri. Liikudes hiiglaslike kiirustega magnetvälja jõujoonte ümber, moodustavad kosmiliste kiirte osakesed midagi Galaktika krooni taolist — nähtamatu ja ulatusliku sfäärilise süsteemi.

Supernoovade süttimisel ja tõenäoliselt ka teistes protsessides paisatakse peale kosmiliste kiirte koosseisu kuuluvate raskete osakeste välja hulgaliselt valguse kiirusele lähedaste kiirustega liikuvaid elektrone. *Galaktika magnetväli pidurdab kiireid elektrone ja see põhjustab mittesoojusliku raadiokiirguse (sünkrotronkiirguse) tekkimise.* See raadiokiirgus tuleb kogu galaktika kroonist — tuleb meieni kõigist suundadest ja kuulub meetriliste ja pikemate lainete diapasooni. Sellele vastupidiselt saadab galaktilise tasapinna lähedal kontsentreerunud ioniseeritud, kuum vesinik täiendavat raadiokiirgust ainult Linnutee rõngastsoonist.

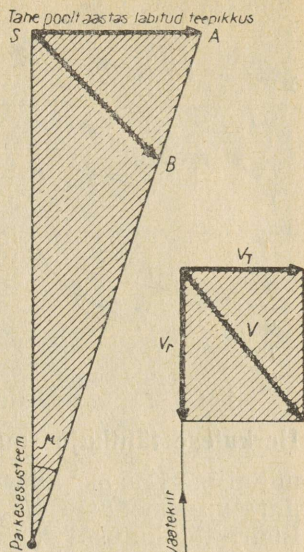
30. TÄHTEDE LIIKUMINE GALAKTIKAS.

1. **Tähtede omaliikumine.** Erinevalt planeetidest peeti vanasti tähti liikumatuiks. XVIII sajandil aga avastati Siiriuuse nihkumine taevas. Nihe on märgatav ainult siis, kui võrrelda tähe asukoha täpseid mõõtmisi, mida lahutavad aastakümned. **Tähe omaliikumiseks nimetatakse tema nurknihet taevas.** Nurknihe suurus aastas võrdub kaaresekundi osadega. Ainult Barbardi täht läbib aastas $10''$ -se kaare, mis 200 aastaga moodustab $1/2^\circ$ või Kuu näiva diameetri. Seepärast nimetatigi Barbardi tähte lendavaks täheks. Kui tähe kaugus pole teada, siis on tähe omaliikumisest vähe, et teada tähe tõelist kiirust. Aasta jooksul tähe poolt läbitud teepikkused SA ja SB (joon. 96) on erinevad, kuid tähe omaliikumine on ühesugune.

2. **Tähtede ruumkiiruse komponendid** (täiendavaks lugemiseks). Tähtede aastane omaliikumine μ on ainult tema ruumilise nihke projektsioon vaatekiirega risti asetsevale tasapinnale (joon. 96). Omaliikumine iseloomustab tähe tangentsiaalkiirust v_t . Tangentsiaalkiiruse avaldamiseks kilomeetrites sekundis tuleb radiaanides mõõdetud μ korrutada tähe kaugusega D kilomeetrites ja jagada sekundite arvuga aastas. Sel juhul võib määrata v_t valemiga:

$$v_t = 4,74 \mu D \frac{\text{km}}{\text{s}} .$$

96. Tähtede omaliikumine ja tangentsiaal-kiirused.



Kui spektri põhjal on määratud ka tähe radiaalkiirus v_r , siis tähe ruumkiirus

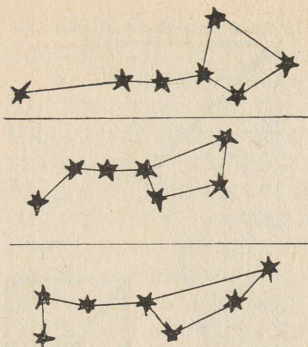
$$v = \sqrt{v_t^2 + v_r^2}.$$

Tähtede kiirused on kilomeetreid ja kümneid kilomeetreid sekundis.

Tänapäeval määratakse tähtede omaliikumisi fotode võrdlemisel, kusjuures need fotod on tehtud ühe ja sellesama teleskoobiga ajamomentidel, mida lahutavad aastakümned. Enamikul kaugetel tähtedel jääb aga sel viisil määratav omaliikumine ikkagi märkamatuks.

Mistahes tähe radiaalkiirust saab määrata alati, kui vaid täht on spektri saamiseks küllaldaselt hele. Täheparvede tähtede liikumine ruumis on ühesugune. Tähtkogusse kuuluvad tähed on ruumiliselt üksteisest kaugel ja seepärast aastatuhandete jooksul muutub tähtede omaliikumise tõttu märgatavalt tähtkuju pilt (joon. 97).

3. Päikesesüsteemi liikumine. XIX sajandi alguses tegi W. Herschel mõnede lähemate tähtede omaliikumise põhjal kindlaks, et nende tähtede suhtes liigub Päikesesüsteem Lüüra ja Herkulese tähtkujude poole. Taevafääri punkti, mille poole Päikesesüsteem liigub, nimetatakse *a p e k s i k s*. Hiljem, kui hakati spektrite järgi määrama tähtede radiaalkiirusi, sai Herscheli järeldus kinnituse. Apeksi suunas asuvad tähed lähenevad meile kiirusega keskmiselt $20 \frac{\text{km}}{\text{s}}$, vastassuunas asuvad tähed aga kaugenevad meist keskmiselt samasuguse kiirusega.



97. Suure Vankri heledate tähtede näivate asendite muutumine nende omaliikumise tõttu; ülal — 50 000 aastat tagasi, keskel — käesoleval ajal, all — 50 000 aasta pärast.

Niisiis, Päikesesüsteem liigub naabertähtede suhtes Lüüra ja **Herkulese tähtkuju suunas** kiirusega $20 \frac{\text{km}}{\text{s}}$. Mõttetu on küsida, millal me jõuame Lüüra tähtkujuni, sest tähtkuju pole ruumiliselt piiratud moodustis. Mõnedest tähtedest, mida me praegu loeme Lüüra tähtkujusse kuuluvaiks, möödume varem (suurtel kaugustel nendest), teised aga jäävadki praktiliselt niisama kaugeteks kui praegu.

- 1. Tähe omaliikumine on $0",1$ aastas ja tema kaugus on 10 pc. Kui suur on tähe tangentsiaalkiirus?
2. Eelmises ülesandes mainitud tähe radiaalkiirus on $10 \frac{\text{km}}{\text{s}}$. Kui suur on tema ruumikiirus?

4. Galaktika pöörlemine. Kõik Galaktika tähed pöörlevad ümber telje, mis läbib Galaktika tsentrit ja on risti galaktilise tasapinnaga. Galaktika tsentrist kuni Päikeseni on pöörlemise nurkkiirus peaaegu ühesugune, s.t. et Galaktika seesmine osa pöörleb nagu kõva keha. Galaktika välised osad pöörlevad aeglasemalt, sest Galaktika tuuma mass pole nii palju suurem komponentide massidest, nagu Päikese mass on suurem Päikesesüsteemi moodustavate kehade massidest. **Päikesesüsteem liigub ümber Galaktika tsentri kiirusega umbes $250 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ ja teeb täistiiru 200 miljoni aastaga.**

31. TÄHESÜSTEEMID—GALAKTIKAD JA METAGALAKTIKA.

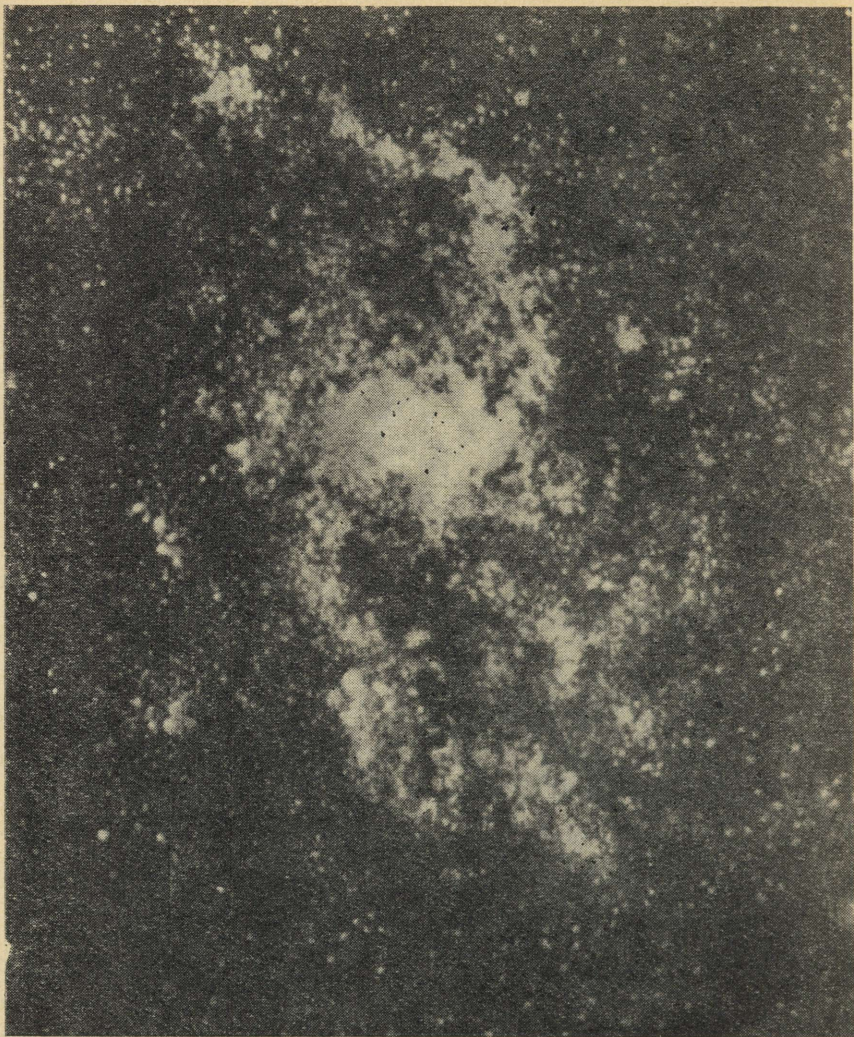
1. Korrapärased galaktikad. XVIII sajandil avastas ja kandis Herschel kataloogidesse tuhandeid taevas paistvaid udulaike. Hiljem avastati, et paljud neist on *spiraalse* kujuga.

XX sajandil sai ameerika astronoom Hubble Andromeeda tähtkujus asuvast udukogust foto, millel oli näha, et udulaik koosneb



98. Spiraalne galaktika M31 Andromeeda tähtkujus. Galaktika paistab tema tasapinna suhtes suure nurga all.

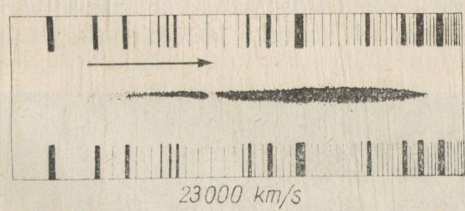
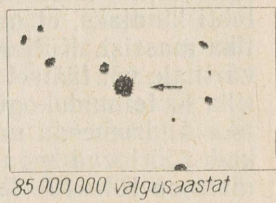
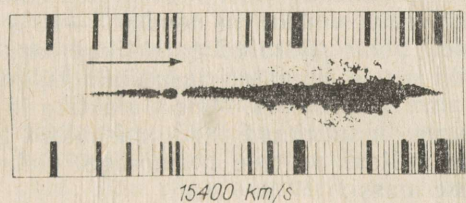
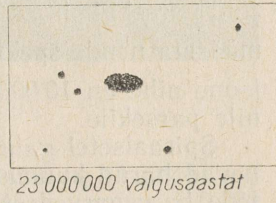
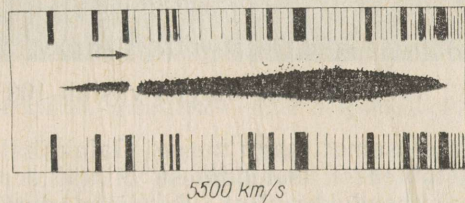
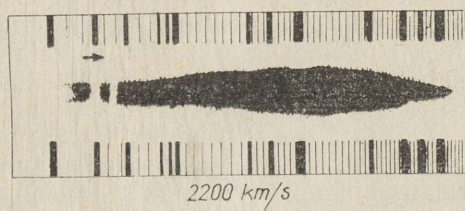
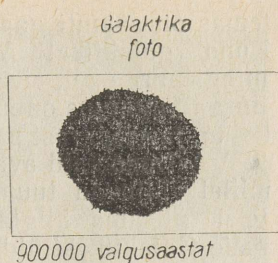
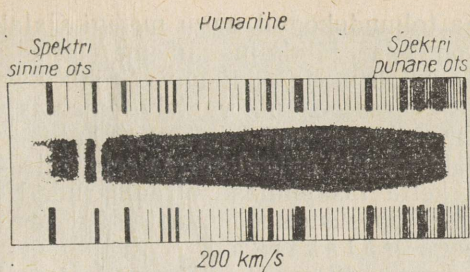
suurest hulgast tähtedest (joon. 98). Ta avastas udukogus noovade süttimisi, hajus- ja kerasparvi ning klassikalisi tsefeide. Määranud viimaste perioodid, tegi Hubble kindlaks, et need tsefeiidid asuvad kaugel väljaspool meie Galaktikat. Niisiis asub spiraalne udukogu Andromeeda tähtkujus samuti kaugel väljaspool



99. Glaktika M 33 Kolmnurga tähtkujus. Galaktika paistab peaaegu lapiti.

meie Galaktika piire ja erineb juba selle poolest meie tähesüsteemi kuuluvatest gaas- ja tolmutukogudest. Teades udukogu kaugust ja nurkdiameetrit, arvutati välja tema joonmõõtmed.

Selgus, et *Andromeeda tähtkujus asuv spiraalne udukogu on umbes samasugune hiiglasuur tähesüsteem nagu meie Galaktika*. Nüüd me teame, et kaugus temani on 2 miljonit valgusaastat ja



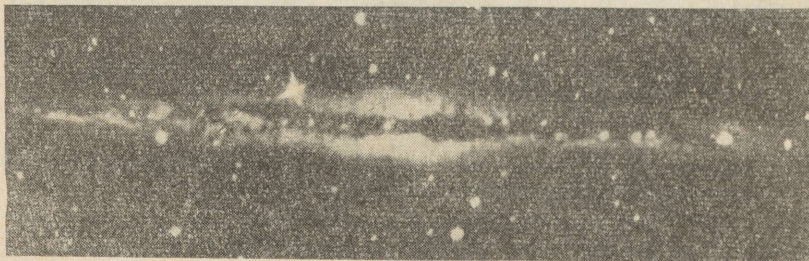
100. Punanihe on galaktikate spektrites seda suurem, mida kaugemal galaktikad asuvad ja mida väiksematena nad seetõttu paistavad.

temas on samuti gaas- ja tolmutukogud nagu meiegi Galaktikas. Kuna galaktikat Andromeeda tähtkujus näeme telje suhtes mingi nurga all, siis ta paistab meie piklikuna. Galaktika Kolmnurga tähtkujus on samuti spiraalne, kuid vaatekiire suhtes vähem kaldu, ja seepärast paistab ta teleskoobis teistsuguse kujuga (joon. 99). Astronoomid avastasid tohutul hulgal spiraalseid galaktikaid, millel väljuvad tuumast ketta tasapinnas spiraalharud. Neid ja teisi niisama hiiglaslikke tähesüsteeme nimetatakse erinevalt meie Galaktikast üldnimega galaktikad.

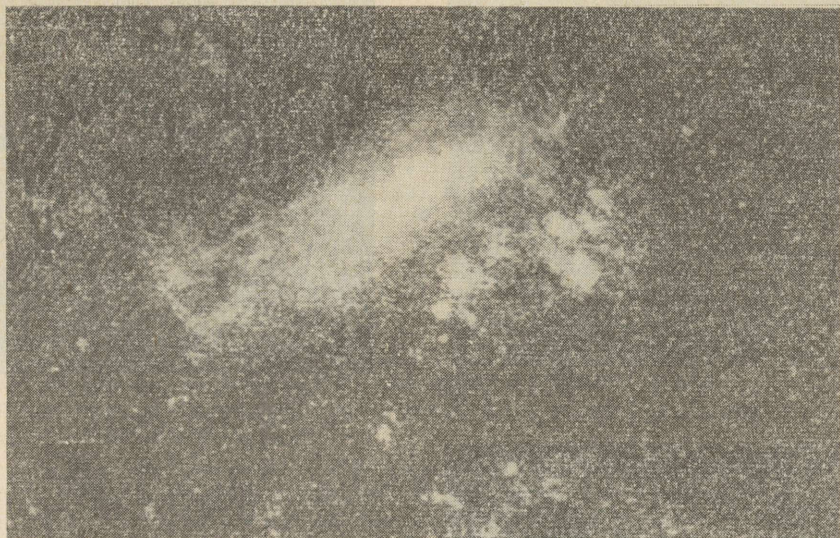
Väga kaugete galaktikate, milles pole nähtavad ei tsefeiidid ega isegi kõige heledamad ülihiid, kaugusi määratakse nn. punanihke järgi nende spektrites. Hubble selgitas välja, et galaktikate, mille kaugused olid nende heledaimate tähtede näiva heleduse põhjal juba hinnatud, spektrites on jooned nihkunud spektri punase otsa poole. Punanihe kasvab võrdeliselt galaktika kaugusega (joon. 100). On kindlaks tehtud, et kui väljendada punanihet galaktikate liikumise kiirustes, siis nihe suureneb kauguse iga miljoni parseki kohta $100 \frac{\text{km}}{\text{s}}$. Seega kaugete galaktikate kaugusi saab määrata nende spektrijoonete punanihke järgi. Kui näiteks spektrijoonete nihe on $10\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$, siis galaktika kaugus vastab 100 miljoni parsekile.

Spiraalsetel galaktikatel, samuti nagu meiegi Galaktikal, koosnevad harud kuumadest tähtedest, tsefeiididest, ülihiidudest, tähtede hajusparvedest ja gaasudukogudest. Raadioteleskoopidega tehti kindlaks, et neutraalset vesinikku on nendes 5—10% galaktika massist. Küljega meie poole pööratud galaktikad sarnanevad värtnale või läätsele. Piki nende ekvaatori tasapinda kulgeb tume riba — tolmutukogude parv (joon. 101). Meie Galaktika ja galaktika Andromeeda udukogus on suurimad. Kõik spiraalsed galaktikad pöörlevad mõnesaja miljoni aastase perioodiga. Galaktikate mass on 10^8 — 10^{11} Päikese massi.

Juba iidsetest aegadest oli teada taeva lõunapoolkeral kaks suurt tähepilve ja neid nimetati Suureks ja Väikeseks Magalhæsi



101. Spiraalne galaktika küljelt vaadatuna. Piki ekvaatorit paiknevad tumedad udukogud.



102. Korrapäratu galaktika — Suur Magalhãesi Pilv.

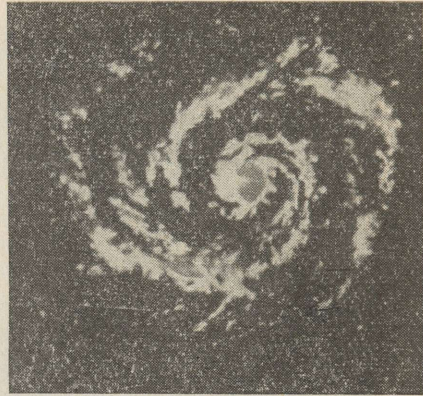
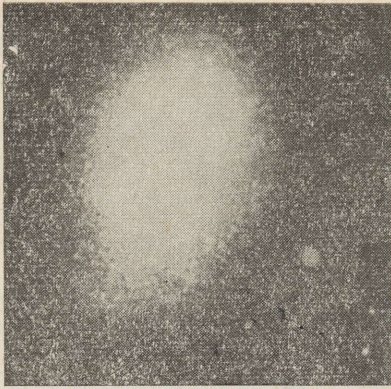
Pilveks (joon. 102). Need on korrapäratud galaktikad ning meie Galaktika kaaslased. Nende kaugus on umbes 150 000 valgusaastat. Tähtede koostis on neil samasugune nagu spiraalsete galaktikate harudel. Korrapäratud galaktikad on spiraalsetest tunduvalt väiksemad ja esinevad harva (joon. 103, *c*). Hulgaliselt leidub elliptilisi galaktikaid, mis oma kujult sarnanevad tähtede kerasparvedega, kuid mõõtmetelt on nendest suuremad (joon. 103, *a*). Vastupidi kiirelt pöörlevaile spiraalseile galaktikaile (joon. 103, *b*) pole, tänu väga aeglasele pöörlemisele, elliptilised galaktikad lapikud. Elliptilistes galaktikates pole ülihiide, tumedaid ega ka heledaid udukogusid.

Hiiglagalaktikate absoluutne tähesuurus on umbes -21 . On olemas ka poolteist tuhat korda nõrgemaid käabusgalaktikaid, mille absoluutne tähesuurus on kuni -13 .

Mõned galaktikad, nn. raadiogalaktikad, on väga tugevad raadiokiirguse allikad.

Analoogiliselt tähtedele on kaksik- ja mitmikgalaktikaid, galaktikate grupe ja parvi. Akadeemik V. Ambartsumjan tõi rea põhjendusi selle kohta, et paljud galaktikate paarid, grupid ja isegi parved on ebapüsivad süsteemid ning lagunevad. Ta juhtis esimesena tähelepanu ka sellele, et sageli ilmneb galaktikate tuumadel aktiivsus — nad plahvatavad ja nende raadiokiirgus kasvab.

Galaktikate maailm on niisama mitmekesine nagu tähtede maailm. Kõikide tuntud galaktikate hulk on veelgi gigantsema süsteemi — Metagalaktika — osa. Kogu see süsteem paisub.



103. Peamised galaktikate tüübid: *a* — elliptiline, *b* — spiraalne, *c* — korrapäratu.

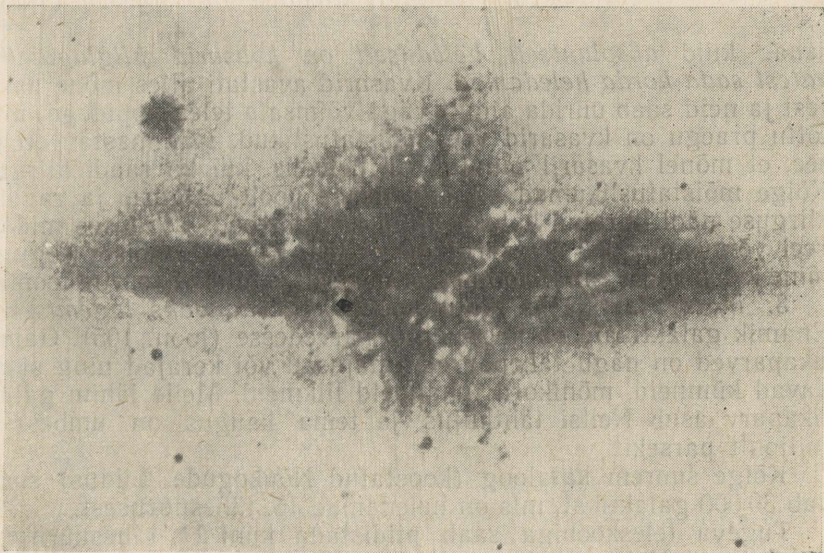
- 1. Kauge galaktika spektrijoonte punanihe osutus võrdseks nihkega, millele vastab meist eemaldumise kiirus $15\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$. Kui kaugel asub meist galaktika? Kui suur on tema diameeter, kui ta paistab meile laiguna, mille nurkdiaameeter on $20''$?
2. Galaktikas, mille spektrijoonte punanihe on $2000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$, süttis supernoova. Supernoova maksimaalne heledus oli 18 näivat tähesuurust. Kui suur oli tema absoluutne tähesuurus ja absoluutne heledus?

2. Raadiogalaktikad ja kvasarid. Galaktikad kiirgavad neutraalse, samuti ioniseeritud kuuma vesiniku poolt heledates udugogudes tekitatud 21 cm lainepikkusega raadiolaineid. Peale selle on galaktikad nende magnetväljas elektronide pidurdamisest tek-

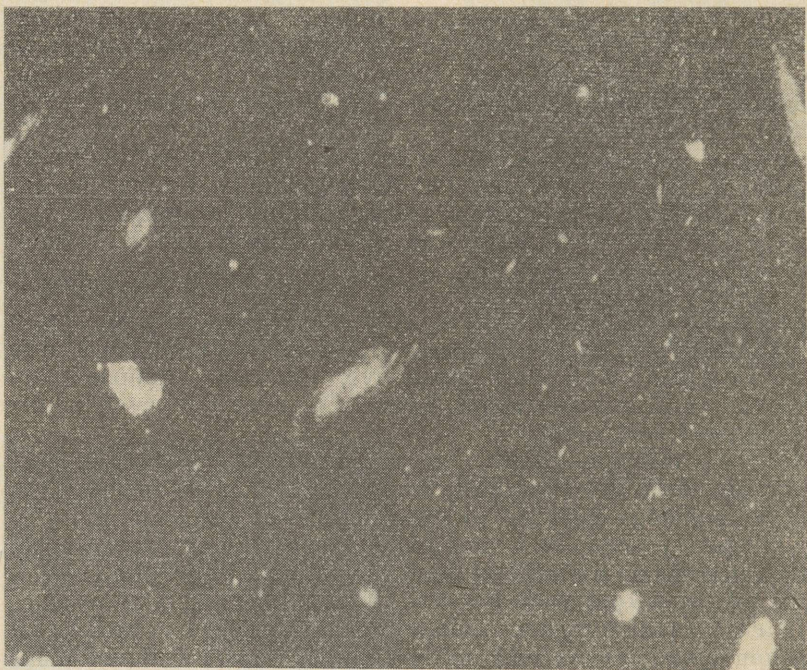
kiva mittesoojusliku raadiokiirguse allikad. Seda kiirgust nimetatakse sünkrotronkiirguseks. Raadiogalaktikatel on väga tugev sünkrotronkiirgus. Hämmastav on see, et sageli on raadiogalaktikal kaks raadiokiirguse kollet, mis asuvad optiliselt nähtavast galaktikast kaugel pool.

Suure tähtsusega oli avastus sellest, et Suure Vankri tähtkujus nõrgalt kiirgaval raadiogalaktikal ilmnevad tema tuumas toimunud hiiglaplahvatuse tagajärjed. Plahvatus toimus umbes 2 miljonit aastat tagasi. Praegu levivad plahvatustel väljapaiskunud pikad ja kuumad vesiniku kiud kiirusega ca $1000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ peamiselt galaktika pooluste suunas (joon. 104). Arvatavasti nii tekivadki kaksikraadiogalaktikad. Raadiogalaktika plahvatamisel paisatakse vastassuundades laiaili kaks gaasipilve, milledes kummaski on magnetväli ja kiired elektronid. Need kaks pilve hakkavadki kiirgama sünkrotronkiirgust.

Mõnede raadiogalaktikate asukohtades leiti objekte, mis ei erine väga nõrkadest tähtedest. Nende spektrites esinevad väga suure punanihkega heledad jooned. Osutus, et need on ultravioletse kiirguse jooned, mis on nihkunud spektri nähtavasse ossa. Joonte punanihe on nii suur, et nendele vastavad miljardite valgusaastate pikkused kaugused. Need objektid, mida nimetatakse «ebatähelesteks» raadiokiirguse allikateks ehk kvasariteks, on kõige kaugemad taevakehad, mille kaugusi on õnnestunud määrata. Kõige heledamad kvasarid paistavad 13. tähesuuruse tähte-



104. Plahvatanud galaktika M82 tema poolt väljapaisatud gaasipilvedega.



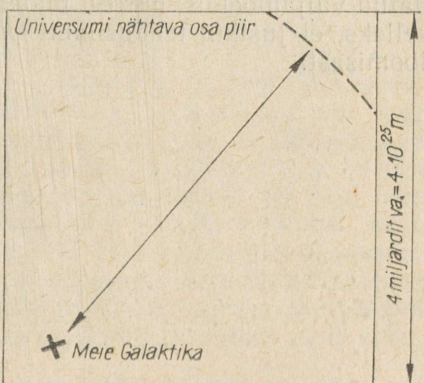
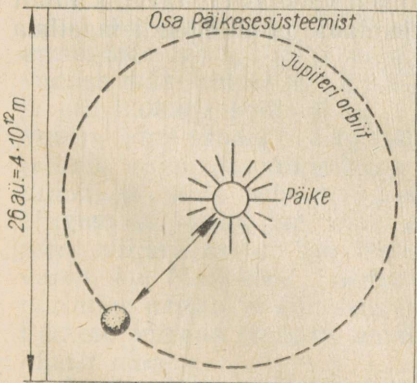
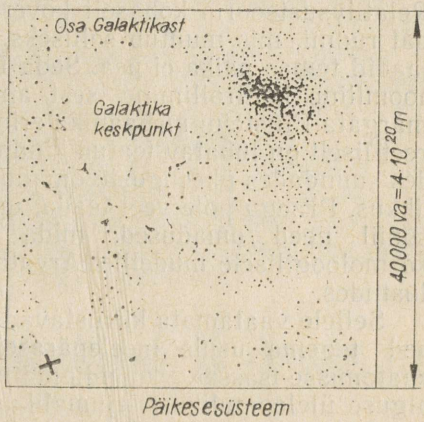
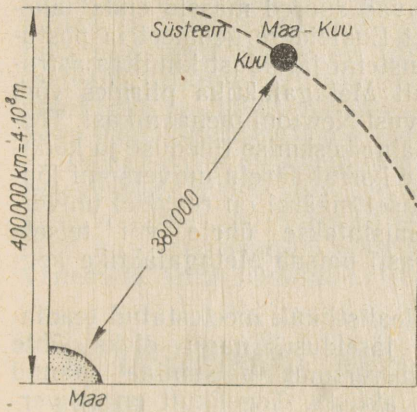
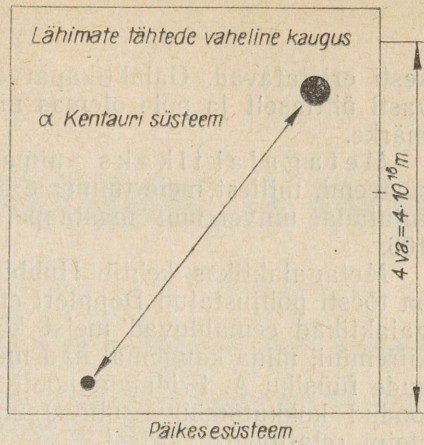
105. Osa galaktikaparvest Neitsi tähtkujus.

dena, kuid *absoluutselt heleduselt on kvasarid hiiglagalaktikatest sada korda heledamad*. Kvasarid avastati alles mõne aasta eest ja neid saab uurida ainult väga võimsate teleskoopidega, mistõttu praegu on kvasarid veel mõistatuslikud. Hämmastav on ka see, et mõnel kvasaril muutub nii heledus kui ka raadiokiirgus. Kõige mõistatuslikumad on aga nende poolt valguse ja raadiokiirguse näol kiiratud kolossaalsed energiavood. Looduses midagi veel võimsamat kui kvasarid me ei tea. Kõige teadmiste kogumine kvasaritest annab lootust, et peatselt selgub kvasarite loomus.

3. Metagalaktika ja kosmoloogia (*täiendavaks lugemiseks*). Enamik galaktikaid on kogunenud parvedesse (joon. 105). Galaktikaparved on nagu täheparvedki hajusad või kerajad ning sisaldavad kümneid, mõnikord tuhandeid liikmeid. Meile lähim galaktikaparv asub Neitsi tähtkujus ja tema kaugus on umbes 10 miljonit parsekit.

Kõige suurem kataloog (koostatud Nõukogude Liidus) sisaldab 30 000 galaktikat, mis on heledamad 15. tähesuurusest.

Tugeva teleskoobiga saab pildistada kuni 21. tähesuurusega galaktikaid. Neid on kokku palju miljoneid ja nendest kõige kaugemad (mõned miljardid valgusaastad) on nõrkadest tähtedest ras-



106. Universumi mõõtkava. Iga ruudu külg on eelneva ruudu küljest 10^4 korda pikem, viimasel ruudul aga 10^5 korda pikem.

kesti eristatavad. Galaktikaparved on jaotunud ruumis arvata-
vasti ühtlaselt ja pole olemas mingeid ruumi hõrenemise tunde-
märke.

Metagalaktikaks nimetatakse kogu galaktikaparvede
süsteemi, millest meie tunneme seni ainult osa. Et selgemalt ette
kujutada universumi mastaape, uurige tähelepanelikult joonist
106.

Metagalaktikas kehtib Hubble punanihke seadus ja see nihe
on tõesti põhjustatud Doppleri efektist. Viimane aga tähendab, et
galaktikad eemalduvad meist kõikvõimalikes suundades ja seda
kiiremini, mida kaugemal nad meist on. See viidi seoses nõuko-
gude füüsiku A. Fridmani poolt juba enne punanihke avastamist
loodud kokkutõmbuva universumi mudeliga, mis järeldots Einstein
relatiivsusteooriast.

Õpetust universumist kui tervikust nimetatakse kosmoloogiaks.
Relatiivsusteooria kohaselt kõverdavad suured massid enda lähe-
dal ruumi, mis muutub selliseks, et Eukleidese geomeetria postu-
laadid temas paika ei pea. Seda Einsteini järeldots kinnitas astro-
noomiline kontrollimine, sest ainult Metagalaktika piirides võib
määrgata Einsteini mehaanika erinevust Newtoni mehaanikast. Teo-
reetiliselt on lubatav teatud kindla aine keskmise tiheduse ja kõiki-
des suundades ühesuguste omaduste korral ääretu universumi lõp-
likkus. Praegu pole veel teada, millisel määral on reaalsel univer-
sumil need omadused, mida omistatakse ühele või teisele
kosmoloogilisele mudelile. Arvatavasti paisub Metagalaktika aeg-
lustudes.

Sellele vaatamata kiirustavad idealistlikult meelestatud teadla-
sed tegema usule meelepäraseid järeldotsi, nagu oleks ühte
«aatomisse-isasse» koondunud universumi paisumine saanud
alguse üleloomulikust «jumalikust aktist». Tegelikult on univer-
sumi ühest aatomist pärinemise võimalus mitte millegagi põhjen-
datud väljamõeldis, mis oli materialismi vaenlastele tarvilik ainult
selleks, et justkui teaduslikult põhjendada piiblikegendi maailma
loomisest.

VI. TAEVAKEHADE TEKKIMINE JA ARENEMINE.

Astronoomia haru, mis tegeleb taevakehade tekkimise ja arenemise uurimisega, nimetatakse kosmogooniaks.

Materialistlik kosmogoonia peab küsimust maailma algusest ja universumi tekkimisest mõttetuks. Kogu inimkonna kogemus näitab, et materia on loodamatu ja hävimatu — ta muudab vaid oma eksisteerimise vormi. Teadusliku kosmogoonia aluseks on materia jäävuse seadus ja energia jäävuse seadus tema muundumisel ühtedest liikidest teisteks. Kosmogoonia ei toetu mitte ainult kogu loodusteaduste kompleksile, vaid ka filosoofiale.

Peamine raskus kosmogoonia probleemide lahendamisel seisneb taevakehade erakordselt aeglases arenemises ja muutumises. Teaduse vanusega võrreldes on taevakehade iga võrratult suur. *Isegi Maa koor eksisteerib umbes $5 \cdot 10^9$ aastat*, kuid tähti on veelgi vanemaid, kuigi teatakse ka päris noori tähti.

32. TAEVAKEHADE VANUS, GALAKTIKATE JA TÄHTEDE TEKKIMINE.

1. **Taevakehade vanus.** Taevakehade vanust määratakse mitmesuguste meetoditega. Kõige täpsem meetod seisneb kivimite vanuse määramises nendes leiduva radioaktiivse elemendi uraani ja plii hulkade suhte järgi. Seatina on uraani spontaanse lagunemise lõpp-produkt. Lagunemisprotsessi kiirus on täpselt teada ja seda ei õnnestu mingisugusel viisil muuta. Mida vähem on järel uraani ja mida rohkem on kivimisse kogunenud seatina, seda kõrgem on kivimi iga. Maa koos on vanimate kivimite vanus mõni miljard aastat. Tervikuna tekkis Maa nähtavasti mõnevõrra varem kui Maa koor. Loomsete ja taimsete kivistunud jäänuste uurimine näitab, et viimaste sadade miljonite aastate jooksul pole Päikese kiirgus oluliselt muutunud. Järelikult *Päike peab olema Maast vanem.*

On ka Maast palju nooremaid tähti. Kuumade ülihiidude energia kulutamise tempo järgi võib otsustada, et nende olemas-

olevad energiavarud võimaldavad nii ohtrasti kulutada energiat ainult väga lühikese aja jooksul. See aga tähendab, et kuumad ülihiid on noored tähed — 10^6 kuni 10^7 aastat vanad.

Noored tähed paiknevad galaktikate spiraalharudes. Nendes asuvad ka gaasudukogud, mille ainek tähed tekivad. Udukogusid hoiab spiraalharudes kinni magnetväli, tähti aga magnetväli spiraalharudes hoida ei saa. Järelikult harudest mitteväljunud tähed on noored.

Tähtede siseehituse ja evolutsiooni kaasaegse teooria kohaselt on kerasparvede tähed kõige vanemad. Nad võivad olla kuni 10^{11} aastat vanad. On selge, et tähesüsteemid — galaktikad — peavad olema neid moodustavatest tähtedest vanemad. Enamik galaktikaid ongi vanemad kui 10^{11} aastat. Sõltuvalt galaktikaid moodustavatest tähtedest võivad aga mõned galaktikad olla ka nooremad.

Esialgu püstitas teadus küsimuse Päikesesüsteemi vanusest, kuid hiljem sai selgeks, et enne seda tuleb lahendada tähtede tekkimise ja arenemise probleem. Praegu aga on nähtavasti ka seda probleemi raske lahendada, kui pole teada, kuidas galaktikad kujunevad ja arenevad.

2. Galaktikate ja tähtede tekkimine (täiendavaks lugemiseks). Akadeemik V. Ambartsumjani hüpoteesi järgi koosnesid galaktikad, ja võib-olla isegi Metagalaktika, esialgu mingist ülitihedast «eeltähelelisest ainek». V. Ambartsumjani arvates on see aine võimeline spontaanselt jagunema ja moodustama galaktikaid, mille tuumad tekitavad edasisel jagunemisel «eeltäheleliste» kehade kogumeid, ja nende jagunemisest tekivad tähed ning difuusne materia. Aktiivsete tuumadega galaktikaid peab V. Ambartsumjan noorteks.

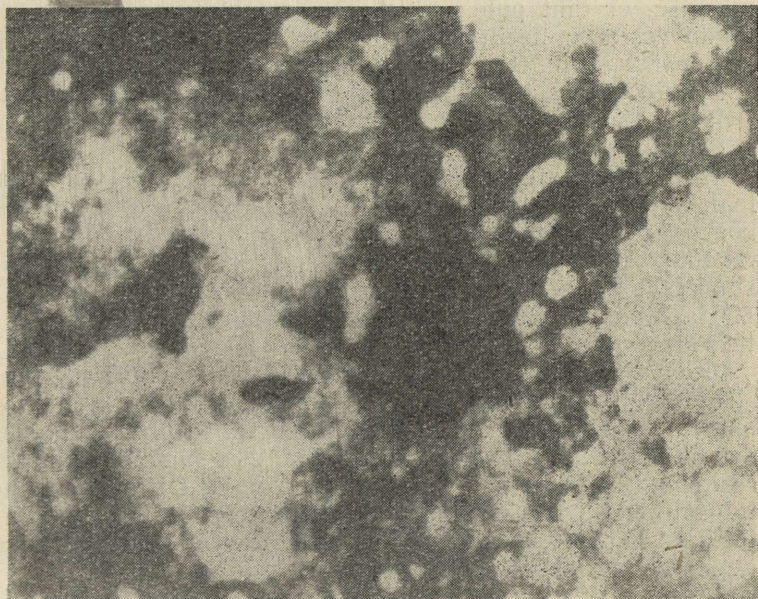
Enamik teadlasi toetab aga varasemat, palju üksikasjalikumalt läbitöötatud hüpoteesi, mille kohaselt tähed ja galaktikad tekkisid Metagalaktika vesiniku massist selle lagunemisel üksikuteks pilvedeks. Lagunemisele järgnes iga pilve tihenemine keraspilvedeks gravitatsioonijõu mõjul. See jagunes paljudeks sfäärilise jaotusega tihendusteks. Nii tekkisid esimesed tähed, mis sisaldasid vähe raskeid elemente. Need tähed kuuluvad kerasparvedesse, elliptilistesse galaktikatesse ja spiraalsete galaktikate tuumadesse. Sfäärilistes galaktikates aitab gaasi suurenenud tihedus kaasa gaasi kontsentreerumisele täheks. Tähtede tekkimise protsess sfäärilistes süsteemides on ammu lõppenud. Nende süsteemide tähed on kõige vanemad. 1931. aastal tõestas selle õpiku autor, et evolutsiooni protsessis paiskavad tähed välja gaasimassi, millest piisab tähtede tekkimiseks. Tähtede, eriti supernoovade sisemuses toimub tuuma-reaktsioonidel raskete elementide süntees kergematest elementidest, mistõttu tähtedest väljapaiskuv gaas on juba rikastatud raskete elementidega. Nii tekkisid ja tekivad sekundaarselt kogunenud gaasi kondenseerumisest uue, noorema põlvkonna tähed, mis erinevad varasematest tähtedest keemilise koostise poolest.

33. TÄHTEDE ARENEMINE *(täiendavaks lugemiseks).*

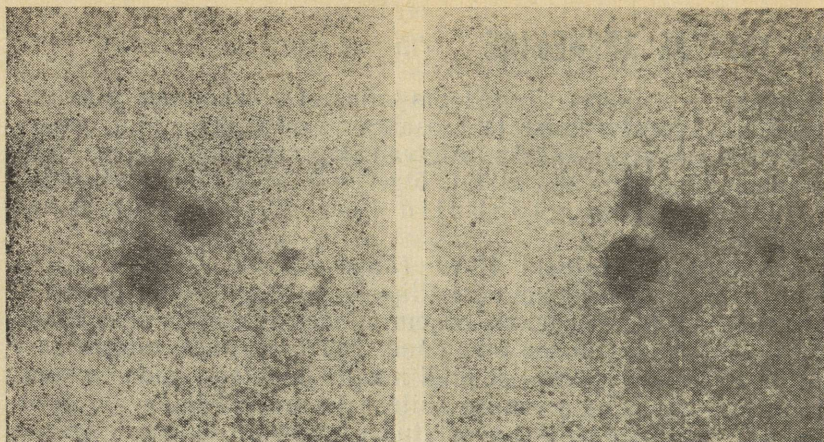
Tihedast gaasilisest või gaasilis-tolmses keskkonnast gravitatsioonilise kondenseerumise (s. t. osakeste vastastikuse tõmbumise) teel tähtede tekkimise kasuks räägivad järgmised kaks tõika. Heledate udukogude taustal avastati õige pisikesed, kuid erakordselt tihedad udukogud, nn. gloobulid (joon. 107). Võimalik, et nad on tähtede alged.

Koos sellega avastasid Haro (Mehhiko) ja Herbig (USA) Orioni tähtkuju tolmutukogudes ülipsisikesi, väga nõrku tihendusi (joon. 108). Ühes neist tekkis hiljem udune täht, mida seal varem polnud — võib-olla oli see tähe sünd. Tekkivaid tähti nimetatakse prototähtedeks. Sellise pildi maalib hüpotees, mida on kontrollitud paljude, tähe seismise ehituse teooriale tuginevate arvutustega ja vaatluste põhjal koostatud värvuse-absoluutse heleduse diagrammiga võrdlemistega.

Sellel diagrammil asuvad prototähed põhijadast paremal, kuna nende temperatuur on veel madalam kui antud massiga ja sellele vastava absoluutse heledusega olemasoleval tähel. Tõmbudes kokku «liigub» täht värvuse-absoluutse heleduse diagrammil horisontaalselt vasakule senikaua, kuni temperatuur tema sisemu-



107. Väikesed ja väga tihedad gaasilis-tolmsed udukogud — gloobulid.



108. Herbigi tähed. Võib-olla parempoolsel fotol (1954. a.) paistvad uued objektid, mis puuduvad vasakpoolsel fotol (1947), ongi tekkinud prototähed.

ses tõuseb mõne miljoni kraadini ning algavad kerge elementide sünteesireaktsioonid ja eraldub soojus. Heleduse muutus on tundemärgiks, et täht pole veel püsivaks muutunud. Kuumenemisega algab vesiniku heeliumiks sünteesimise reaktsioon ja kokkusurutuse vähenemine. Gaasi rõhk seestpoolt tasakaalustab tsentrisse suunatud gravitatsioonijõu. Täht muutub püsivaks ja satub põhijadasse. Päikese massiga täht tõmbus kokku ja ilmus põhijadasse 10^8 aasta eest.

Tähe paremalt poolt põhijadasse tulemise koht on seda kõrgemal, mida suurem on tähe mass. Mida massiivsem on täht, seda kõrgem on temperatuur tema sisemuses ja seda kiiremini toimub vesiniku «ärapõlemine» heeliumiks. Olles põhijadas, «põletavad» sinakasvalged tähed vesiniku ära 10^6 – 10^7 aastaga, Päike aga 10^{10} aastaga. Päikese siseenergiat jätkub veel kümneteks miljoniteks aastateks.

Koos vesiniku ärapõlemisega tähe tuumas algab arengu kolmas staadium, kus täht «ronib» juba punase hiiuna mööda värvuseabsoluutse heleduse diagrammi paremale ja üles. Punastes hiitudes toimub selle staadiumi lõpus heeliumi süsinikuks muundumise reaktsioon, mis ka selles staadiumis lõpeb. Olles tihenened, muutub täht väga tihedaks valgeks kääbuseks. Väikese pinna ja seetõttu ka kasina energia kulutamise tõttu võib valge kääbus heleneda kokkutõmbumise arvel jätlegi väga pikka aega.

34. PLANEETIDE SÜSTEEMIDE JA MAA TEKKIMINE.

Päikesesüsteemi päritolu probleemi lahendamisel seisab põhiline raskus selles, et me ei näe erinevatel arenemisstaadiumidel olevaid teisi taolisi süsteeme. Meie Päikesesüsteemi pole mitte millegagi võrrelda.

Tõsi küll, mõne lähema tähe ümber on arvatavasti planeedid, sest need tähed pöörlevad vaevumärgatavate perioodidega ümber mingi raskuskeskme. Nende tähtede nähtamatu kaaslane on väikese massiga ja ta on arvatavasti kas planeet või planeetide rühm. Midagi rohkemat aga praegu öelda ei saa. See nähtus on väga tähtis selle poolest, et ta välistab Päikesesüsteemi ja Maa erandlikkuse ruumis. Meie Päikesesüsteemiga sarnanevad süsteemid peaksid olema küllalt levinud ja nende tekkimine pole seotud juhusega, vaid on seaduspärane nähtus.

Materialistliku maailmavaate arengus mängisid esimesed oletused Päikesesüsteemi looduslikust tekkimisest suurt ajaloolist osa. Esimene oli saksa filosoof Kanti hüpotees. XVIII sajandi keskel esitas Kant oma idee Päikesesüsteemi tekkimisest külmade, kaootiliselt liikuvate tolmuosakeste pilvest. 1796. aastal kirjeldas prantsuse teadlane Laplace üksikasjalikult hüpoteesi Päikese ja planeetide tekkimisest pöörlevast gaasudukogust.

Laplace võttis arvesse kõik Päikesesüsteemi põhilised iseloomulikud jooned, mida peab selgitama iga selle süsteemi päritolu käsitlev hüpotees. Need jooned olid: süsteemi põhiline mass on koondunud Päikesesse; planeetide ja nende kaaslaste orbiidid on peaaegu ringikujulised ning asuvad peaaegu ühes tasandis; kaugused nende vahel kasvavad reeglipäraselt; enamasti kõik planeedid mitte ainult ei tiirle ümber Päikese ühes suunas, vaid pöörlevad samas suunas ka ümber oma telje.

Edasine teaduse arenemine lisas nendele veel Päikesesüsteemis liikumishulga momendi jaotuse selgitamise tarvilikkuse.⁵

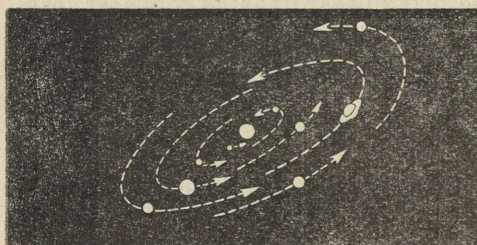
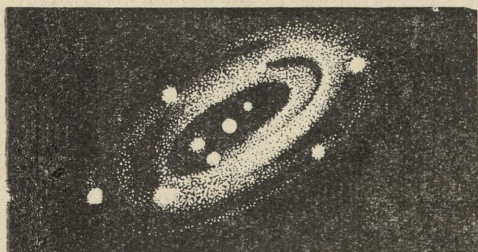
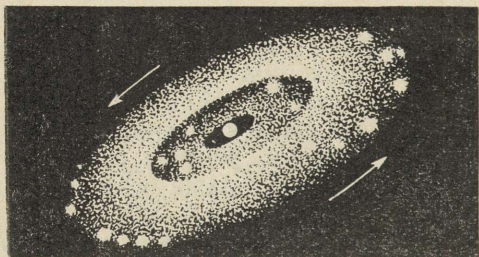
Päikese liikumishulga moment on planeetide summaarse liikumishulga momendiga võrreldes liiga väike. Vastuväidetest Laplace'i hüpoteesile oli see kõige tõsisem. Tänapäeval on kõik teadlased veendumusel, et Maa pole kunagi olnud ei gaasiline ega ka hõõguv-vedel, vaid ta tekkis külmast gaasilis-tolmest massist.

Praegusel ajal on kõige läbitöötatum nõukogude akadeemiku O. Schmidt'i hüpotees planeetide tekkimisest gaasilis-tolmest keskonnast.

Schmidt'i hüpoteesi järgi pidi ümber Päikese tiirlev hiiglasuur gaasi ja tolmu pilv muutuma laperguseks. Seda põhjustas osakeste vastastikune kokkupõrkamine ja energia ning liikumishulga

⁵ Päikesesüsteemi liikumishulga momendi võib väljendada valemiga $L = \sum m\omega r^2$, kus m — planeedi mass, r — planeedi keskmine kaugus Päikesest ja ω — nurkkiirus.

vahetus, mis viis osakeste sellisele jaotusele kiiruste ja suundade järgi, et põrkeid oleks võimalikult harvem. Niisiis koondus tolm kettaks, mille paksus oli tuhat korda diameetrist väiksem. Osakeste orbiidid muutusid ringikujulisteks ja nende liikumine toimus ühes ja samas suunas. Suuremad osakesed sidusid endaga väiksemaid ja seega kõige kiiremini kasvas suurte osakeste mass. Selliselt tekkis mitu suurt keha — planeeti (joon. 109). Arvutuste järgi kasvas Maa oma praeguse massini mõnesaja miljoni aastaga. Maa, mille pind oli külm, hakkas kuumenema radioaktiivsete elementide lagunemise tagajärjel. Rasked elemendid koondusid sissepoole ja moodustasid tuuma, kerged elemendid aga koore. Planeetide algeid ümbritsevas osakeste parves osakeste liitumisprotsess kordus ja tekkisid planeetide kaaslased. Planeedile langevate kehade löökide mõjul hakkasid planeedid pöörlema. Päikesest kaugel asuvates tolmuketta osades oli temperatuur madal ja seepärast suurte planeetide tekkimisel vesinik ei lendunudki. Pilve tugev kuumenemine Päikese lähedal kiirendas vesiniku haihtumist ning seepärast teda



109. Planeetide tekkimise etapid gaasilis-tolmest pilvest O. Schmidti hüpoteesi järgi.

Maa-rühma planeetides peaaegu ei ole. Schmidtil õnnestus esimesena saada teooriast vaatlustele vastav seaduspärasus planeetide kauguste kohta Päikesest.

Suurimat raskust valmistab küsimus, kuidas võis esialgne gaasi ja tolmu pilv ümbritseda Päikest ja kust sai ta sellise pöörde-momendi, mis on planeetidel praegu.

Inglise teadlane F. Hoyle arendas välja teooria, mille järgi tekemomendil oli Päike magnetvälja omava gaasilis-tolmse udukogu tihendus. Sel juhul vähenes mingitel tingimustel magnetvälja pidur-dava mõju tõttu kiiresti pöörleva Päikese liikumishulga moment, kuid ketta ainel ta suurenes ja säilis planeetidel. Päike hakkas aeg-lasemalt pöörlema.

Praegu ei saa me isegi ligikaudu hinnata seda, kui paljudel tähtedel on planeedid ja paljudel nendest võis tekkida elu. Mil määral on elu suutnud luua mõistusega olendeid ja tehnikat, mis loob võimaluse vahetada informatsiooni teiste tsivilisatsioonidega? Kui sagedasti võib kohata kosmoses tsivilisatsioone, kes on meiega samaaegselt selleks võimelised? Ka kõige tagasihoidlikumate arvutuste puhul on väljaspool kahtlust asjaolu, et taolisi tsivilisatsioone on Galaktikas palju. Juhus on, et taoline tsivilisatsioon oleks meile küllalt lähedal selleks, et temaga «vestlemisel» oleks mõtet, sest lähemate tähtedeni jõudmiseks kulub raadiosignaalidel rohkem kui kümneid aastaid, niisama palju aastaid kulub vastuse saamiseks. Teaduse ja tehnika kiire arenemine toob peagi sellesse probleemi rohkem selgust.

Teadus selgitab hüpoteeside abiga taevakehade tekkimist ja arenemist. Teaduslikud hüpoteesid rajanevad kogu meie teadmiste hulgal ja püüavad rahuldada paljusid teaduslikke nõudeid.

Vastupidiselt religioonile, mis omistab kõik toimunu jumala tahtele ja väidab, et maailm on tunnetamatu, tunnetab teadus samm sammu järel universumit. Teadus eraldab rangelt tuntut ja oletatavat, oletatavat ja tundmatut. Teaduse jõud on tema edasiliikumises — ta asendab järk-järgult oletatava rangelt kindlakstehtuga ja tundmatu oletatavaga. Seega tõestab teadus pidevalt looduse piiramatut tunnetamise võimalikkust.

Teaduse andmete valguses osutub universum lõpmatuks ajas, s. t. ta on igavene. Universumil pole iialgi olnud algust ja tal ei saa iialgi olema ka lõppu, ta on eksisteerinud alati ja saab eksisteerima alati. Kõik see käib universumi kohta tervikuna, täpsemalt öeldes — materia kohta, millest ta koosneb. Tema üksikud osad, nagu Maa, Päikesesüsteem, tähed ja isegi tähesüsteemid — galaktikad — tekivad pidevalt, läbivad pika arenemistee ja lõpetavad oma eksisteerimise sellega, et neid moodustav materia võtab uue kuju. Äraelanud maailmade asemele tekivad uued, millel aja jooksul tekib elu, mis järk-järgult keerulisemaks muutudes tekitab oma kõrgeima avalduse — arukad, mõtlevad olendid.

LISAD.

I. Astronoomias esinevate tähtsamate suuruste ligikaudsed arvulised väärtused (soovitav meelde jätta).

Päikese ja Kuu näiv nurkdiaameeter	$\frac{1}{2}^{\circ}$
Ekliptika kalle ekvaatori suhtes	$23 \frac{1}{2}^{\circ}$
Maa keskmine raadius	6370 km
Maa ekvaatorilise ja polaarse raadiuse vahe	20 km
Aasta kestus	365 ööpäeva 5 t. 49 min.
Sünoodilise kuu kestus (ajavahemik Kuu kahe ühesuguse faasi vahel)	$29 \frac{1}{2}$ ööpäeva
Tähe (sideerilise) kuu kestus (Kuu tiirlemisperiood ümber Maa)	$27 \frac{1}{3}$ ööpäeva
Päikese ja Maa massi suhe	330 000
Kõige lähem planeedi (Merkuuri) tiirlemisperiood	3 kuud (88 ööpäeva)
Kõige pikem planeedi (Pluuto) tiirlemisperiood	250 aastat
Kõige suurema planeedi (Jupiteri) diaameeter.	11 Maa dia- meetrit
Kuu keskmine kaugus Maast	380 000 km
Maa keskmine kaugus Päikesest ehk 1 astronoomiline ühik	150 000 000 km
1 parsek	260 265 aü. ehk $3 \frac{1}{4}$ va.
Lähima planeedi (Merkuuri) keskmine kaugus Päikesest	0,4 aü.
Kõige kaugema planeedi (Pluuto) keskmine kaugus Päikesest	40 aü.
Päikesesüsteemi kaugus lähimast tähest (α Kentauris)	4 va. ehk $1 \frac{1}{3}$ pc ehk 270 000 aü.
Meie tähesüsteemi — Galaktika läbimõõt	100 000 va.
Kaugus lähima tähesüsteemini — galaktikani Andromeeda tähtkujus	2 000 000 va.
Palja silmaga nähtavate tähtede arv	umbes 6000

Kuu läbimõõt, võrreldes Maa läbimõõduga	$\frac{1}{4}$
Päikese läbimõõt, võrreldes Maa läbimõõduga	109
Päikese pinna temperatuur	6000°
Päikese laikude arvu muutumise keskmine periood	11 aastat
Tähtede temperatuurid	alates 3000° (punased tähed) kuni 30 000° (valged tähed)
Maakoore vanus	umbes 5 mil- jardit aastat
Kevadine pööripäev	umbes 21. märtsil
Suvine pööripäev	„ 22. juunil
Sügisene pööripäev	„ 23. septembril
Talvine pööripäev	„ 22. detsembril

II. Kreeka tähestik.

Aα — alfa	Nν — nüü
Bβ — beeta	Ξξ — ksii
Γγ — gamma	Οο — omikron
Δδ — delta	Ππ — pii
Εε — epsilon	Ρρ — roo
Ζζ — dzeeta	Σσς — sigma
Ηη — eeta	Ττ — tau
Θθ — teeta	Υυ — üpsilon
Ιι — ioota	Φφ — fiü
Κκ — kapa	Χχ — hii
Λλ — lambda	Ψψ — psii
Μμ — müü	Ωω — oomega

III. Heledate tähtede kõige enam tarvitatavad nimetused.

Aldebaran — α Sõnnis	Kastor — α Kaksikutes
Algol — β Perseuses	Miitsar — ζ S. Vankris
Altair — α Kotkas	Polluks — β Kaksikutes
Antares — α Skorpionis	Prooküon — α V. Penis
Arktuurus — α Karjases	Põhjanaan — α V. Vankris
Bellatriks — γ Orionis	Reegulus — α Lõvis
Betelgeuse — α Orionis	Riigel — β Orionis
Deeneb — α Luiges	Siirius — α S. Penis
Fomalhaut — α Lõunakalas	Spiika — α Neitsis
Kapella — α Veomehes	Veega — α Lüüras

Põhilisi andmeid nende tähtede kohta leiata lisast IV.

IV. Mõningate NSV Liidus nähtavate heledate tähtede nimestik.

Tabelis näitab spektriklassi tähis ühtlasi ka tähe värvust: O, B — sinakasvalged, A — valged, F — kollakad, G — kollased, K — oranžid, M — punased.

Tähed	Tähe suurus	Otsetõus			Kääne	Spektri- klass
		t.	min.	s.		
α Sõnnis	1,06	4	31	54	+16 22,2	K
β Orionis	0,34	5	11	10	— 8 16,9	B
α Veomehes	0,21	5	11	31	+45 55,7	G
α Orionis	0,92*	5	51	23	+ 7 23,7	M
α S. Penis	—1,58	6	42	4	—16 37,1	A
α Kaksikutes	1,99	7	30	8	+32 2,6	A
α V. Penis	0,48	7	35	38	+ 5 24,3	F
β Kaksikutes	1,21	7	41	2	+28 11,8	K
α Lõvis	1,34	10	4	39	+12 18,6	B
α Neitsis	1,21	13	21	30	—10 47,8	B
α Karjases	0,24	14	12	28	+19 32,8	K
α Skorpionis	1,22*	16	25	7	—26 16,7	M
α Lüüras	0,14	18	34	34	+34 43,1	A
α Kotkas	0,89	19	47	22	+ 8 40,9	A
α Luiges	1,33	20	39	3	+45 1,8	A
α Lõunakalas	1,28	22	53	47	—29 59,6	A

* Vähemuutlikud tähed.

V. Päikesesüsteemi tabel.

Sideeriline tiirle- misperiood aastates	Sünoodiline tiirlemisperiood ööpäevades	Keskmine kaugus Päikesest		Orbiidi kalle ekliptika suhtes	Mass (Maa — 1)	Tihedus $\frac{g}{cm^3}$	Ekvaatoriline läbimõõt		Lapikus	Ümber telje pöörlemise sideeriline periood	Ekvaatori kalle orbiidi tasapinna suhtes	Planeetide tuntud kaaslaste arv	
		astr. üh.	milj. km				Maa —	km					
Merkuur	0,241 ¹	116	0,387	58	7°00'	0,05	5,5	0,39	5 000	—	58,646 öö- päeva	väike	—
Veenus	0,615 ²	584	0,723	108	3°23'	0,81	4,9	0,97	12 400	—	244,3 öö- päeva	väike	—
Maa	1,000	—	1,000	150	—	1,00	5,5	1,00	12 756	1/298	23 t. 56 min. 4 s.	23°27'	1
Marss	1,881	780	1,524	228	1°51'	0,11	4,0	0,53	6 780	1/192	24 t. 37 min. 23 s.	25°10'	2
Jupiter	11,86	399	5,203	778	1°18'	318,4	1,3	11,25	143 640	1/16	9 t. 50 min.	3°6'	12
Saturn	29,46	378	9,539	1426	2°29'	95,2	0,7	9,5	120 500	1/10	10 t. 14 min.	26°45'	10
Uraan	84,01	370	19,19	2869	0°46'	14,6	1,6	3,8	47 600	1/18	10,7 tundi	98°	5
Neptuun	164,7	368	30,07	4496	1°46'	17,3	2,3	3,5	44 600	1/40	15,8 tundi	29°	2
Pluuto	248,9	367	39,65	5929	17°08'	0,93	5?	1?	12 000?	?	?	?	—
Päike	—	—	—	—	—	332 400	1,4	109,0	1 391 000	—	25,4 öö- päeva (ekvaatoril)	7°15'	—

¹ Ehk 88 ööpäeva

² Ehk 225 ööpäeva

VI. Vaatlusjuhendid.

Peamiste taevanähtuste vaatlused on igale õpilasele äärmiselt vajalikud. Taevakehi saab jälgida aga ainult selge, pilvitu ilmaga. Kõiki taevakehi, peale Päikese ja harva ka Kuu, saab vaadelda ainult öhtuti. Mõned nähtused, nagu näiteks varjutused, toimuvad hommikuti või ainult kindlatel, harva esinevatel momentidel ja me ei saa neid vaadelda mõnel teisel, meile sobival ajal. See-pärast, pidades veel silmas astronoomia lühiajalist õppimist koolis, ei tohi vaatlustega mingil juhul viivitada. Neid tuleb korraldada esimesel võimalusel, kasutades selleks selgeid öhtuid. Vaatlusi pole tarvis läbi viia vastavalt sellele, mis-sugune teema koolis parajasti käsil on. Sellise kooskõla saavutamine on ilmas-tikutingimuste tõttu võimatu.

Võimalikult rohkesti peab püüdma teha vaatlusi septembri- ja oktoobrikuu jooksul. Siis esineb sageli selgeid öhtuid ja pole veel kuigi külm. Novembris ja talvekuudel on selgeid ilmu harvemini, samuti raskendavad vaatlusi pakased. Märtsist alates on küll selgete ilmade sagedus suurem, kuid pimenema hakkab üha hiljem ja hiljem.

Vaatlusi tuleb sooritada niisuguses kohas, mis on varjatud laternate ja majade akende valguse eest. Tähtede vaatlemiseks on sobiv aeg, kui pole kuu-valgust. Vaatluste ajal on soovitatav kasutada väikest, võrdlemisi tuhma valgusega taskulampi, mis võimaldab vajaduse korral jälgida taevakaarti ja teha üles-kirjutusi või joonistada visandeid.

Septembri- ja oktoobrikuu jooksul on vaja, mida varem, seda parem, läbi viia järgmised vaatlused.

1. Umbes iga kahe nädala tagant, sõltuvalt ilmast, märkida ja üles joonista-tada (alati ühest ja samast kohast) Päikese tõusu või loojangu koht nähtaval horisondil teiste esemete suhtes. Veenduda tõusu- või loojangupunktide muu-tumises.

2. Soovitatav on teha sedasama Kuu suhtes, kuid sealjuures kirjutada iga kord üles veel tõusu või loojumise kellaaeg. Neid vaatlusi tehtagu juba iga päev, kusjuures tõusu ja loojangu kellaaeg on piisav märkida 3—4 korral.

3. Jälgida päevast päeva Kuu faaside kuju muutumise täielikku tsüklit. Sealjuures teha naaberpäeval mitte vähem kui kaks joonist Kuu välisilme ja asendi kohta tähtede keskel. Joonis teha tähekaardilt võetud koopiale. Need joonised tuleb teha ajal, millal Kuu ei helendu liialt tugevasti ja seetõttu on nähtavad ka nõrgad tähed. Kui märkida Kuu asend ainult kõige heledamate tähtede suhtes, siis, kuna neid on taevas vähe, ei saa me Kuu liikumist 13° võrra ööpäevas küllalt selgesti üles märkida. Need vaatlused näitavad, kuidas Kuu liigub tähtede taustal itta.

4. Pööratava taevakaardi abil leida sügisel ja pidada meeles Suure ja Väikese Vankri tähtkuju, Põhjanael ning mõned teised tähtkujud ja heledad tähed. Et neid mitte unustada, peab iga õpilane nad aeg-ajalt iseseisvalt taeva-võlvil üles otsima. Seejuures tuleb märkida vihikusse, missugused tähtkujud olid öhtul nähtavad lõunataevas.

5. Kevadel, veel parem aga talvel, vaadata, missugused tähtkujud on nüüd nähtavad lõunataevas, ja üles leida juba tuttavad, pooluselähedased tähtkujud. Tähtkujude otsimisel tuleb tähekaarti hoida nii, et põhja, ida jt. tähised langeksid ühte vastavate ilmakaartega maastikul. Tuleb pöörata tähelepanu kaardil kuju-tatud tähtede erinevale heledusele ja ühendada nad mõttes sirgjoontega. Leidnud ühe tähtkuju, minna sellelt järgmisele.

6. Tähtkujude vaatlemisel pöörata tähelepanu heledate tähtede värvusele, mis vastab nende temperatuurile.

7. Tähtkujude vaatlemise käigus, päris alguses ja lõpus, pange tähele mõnede heledate tähtede asendit horisondi suhtes ja nende liikumist taevaskera ööpäevase pöörlemise tõttu sõltuvalt nende kaugusest maailmapoolusest. Soovi-tatav on pildistada taevaskera pöörlemist pooluse lähedal nii, nagu see on kirjel-

Näidata õpetajale, kuidas leida Põhjanael ja selle järgi ilmakaared.

9. Kuu faasi ja asendi järgi horisondi suhtes näidata ligikaudselt ilma-kaared.

10. Kasutades astronoomilist kalendrit ja tähekaarti, leida kas iseseisvalt või õpetaja abiga antud kuul taevavõlvil nähtavad planeedid. See vaatlus viia läbi septembris ja joonistada täpselt planeedi asendit tähtkuju (milles planeet on nähtav) tähtede keskel. Iga 1—2 kuu planeet kontrollida seda joonist ja selgitada, kuidas on planeedid muutnud asukohta.

11. Tähtkujude vaatlemisel märkige üles, kuidas lendavad taeva laotusel meteoroidid.

12. Vaatlused teleskoobiga või binokliga. Binoklitest on parem prisma-binokkel, mis annab kuuekordse suurenduse. Sellega võib näha: 1) suuri päikeselaike (läbi tumeda klaasi), kui neid esineb; 2) Kuu hommikuse või õhtuse serva ebatasasusi ja tema suuremaid rõngakujulisi mägesid; 3) paljusid tähti Linnutees ja Plejaadide täheparves, milles palja silmaga võib näha 6 tähte; 4) Orioni gaasudukogu (talvel) ja udulaiku — galaktikat — Andromeedas (sügisel), mis on palja silmaga vaevalt nähtavad; 5) kaksiktähti Suures Vankris, Lüüras; 6) mõnikord Jupiteri kaasläsi, mis on talle väga lähedal.

Teleskoobiga näeme palju rohkemat. Teleskoobi asemel võib kasutada teodoliidi või kaugusemõõtja toru. Soovitatakse, et õpilased teeksid ise teleskoobi prilliklaasidest, mis pannakse paberist liimitud torusse.

Ekskursioonid planetaariumi või observatooriumi on väga kasulikud, kuid nad ei tohi asendada loodusnähtuste iseseisvat vaatlemist.

Taeva vaatlemisel on soovitatav kasutada täheatlasi.¹

VII. Pööratav taevakaart.

Maakera ööpäevane pöörlemine ümber oma telje ja aastane tiirlemine ümber Päikese kutsuvad esile tähistava vaate pideva muutumise. See tähistava vaate ööpäevane ja aastane muutumine teeb tähistava tundmaõppimise kaunis keeruliseks. Tähistava ja selle näiva liikumise tundmaõppimiseks väga kohane vahend on pööratav taevakaart, mis võimaldab saada nähtavate tähtede järgi orienteeritud tähistava kujutust iga soovitud kuupäeva ja kellaaja jaoks. Käesolevale õpikule lisatud pööratav taevakaart koosneb kahest osast. Esimesel lehel on antud väljalõigatav šabloon horisondiga, ilmakaartega ja kellaegadega. Teisel lehel on antud tavaline taevakaart kõikide meie laiusel nähtavate taeva aladega. Šabloon, õigesti asetatuna taevakaardile, võimaldab sellest eraldada antud hetkel nähtava taevaosa ja näha, kuidas see taevaosa (taevasfääri osa pealpool horisonti) orienteerub ilmakaarte suhtes.

Teisel lehel kujutatud taevakaardil näeme taevakoordinaatide võrku. Kaardi keskel on kujutatud taeva põhjapoolus — punkt, kus maailma telg lõikab kujutletavat taevaskera. Taevapoolusest väljuvad igas suunas sirged ja tema kui tsentri ümber on tõmmatud rida ringe. Neile sirgetele ja ringidele vastavad taevasfääril käänderingid ja paralleelringid, mis on analoogilised meridiaanidega ja paralleelidega maakeral. Taevakoordinaatide võrgu abil on kaardile kantud tähed nende koordinaatide, otsetõusu ja käände (tähistatakse vastavalt α -ga ja δ -ga) järgi. Nad on analoogilised geograafilise pikkuse ja laiusega. Sarnaselt geograafilise laiusega loetakse käände taevakvaatorist põhja ja lõuna poole (vastavalt positiivne ja negatiivne kääne), avaldades nad kaare-mõõdus, s. o. kraadides, kaareminutites ja kaaresekundites. Otsetõus loetakse ida poole kevadise pöörpäeva käänderingist ehk käänderingist, kus asetseb kevadise pöörpäeva punkt. Selles punktis asetseb Päike kevadisel pöörpäeval, läbib taevakvaatorit ja minnes lõunapoolkeralt põhjapoolkerale. Otsetõus avaldatakse ajamõõdus, s. o. tundides, ajaminutites ja ajasekundites ($360^\circ = 24$ tundi). Päikese näiv aastane teekond taevas — ekliptika — on märgitud kaardile punktiirjoonega. Päike liigub mööda ekliptikat vastassuunas taevaskera näivale pöörlemisele. Ekliptika kahest lõikepunktist taevakvaatoriga on üks

¹ A. Д. Марленский. «Учебный звездный атлас». М., «Просвещение», 1969.

kevadise, teine sügise pöörpäeva punkt. Paralleelringidele vastavad käänded on märgitud kaardil kevadise pöörpäeva käänderingidele. Otsetõusud on märgitud kaardi välisele ringile. Peale otsetõusude on kaardi välisele ringile märgitud kuupäevad, mis vastavad keskmisele Päikese otsetõusule. Vastandina tõelisele Päikese otsetõusule muutub keskmine Päikese otsetõus ühtlase kiirusega aasta läbi.

Tähed on kaardil kujutatud ümmarguste täppidena, seda suurematena, mida suurem on tähe heledus. Tähtkujude nimed on kaardil eestikeelsed.

Peale tähtede ja tähtkujude on kaardile märgitud täheparved (sümbol: kolm punkti) ja udukogud (sümbol: kolm kriipsu), mis on nähtavad palja silmaga või väikese optilise riistaga. Kergesti eraldatavaid (palja silmaga, väikese pikksilmaga) kaksiktähti on eristatud teistest tähtedest läbi tähekujutise tõmmatud kriipsuga, mis on paralleelne taevaparalleelidega. Heleduse tunduva kõikumisega muutlikud tähed on samuti märgitud kriipsuga läbi tähekujutise, kuid kriips on risti taevaparalleeliga. Linnutee on kujutatud isotootidega (samaheledusjoontega).

Tuleb tähendada, et kaardi joonestamisel on kasutatud stereograafilist projektsiooni. Selle projektsiooni suureks eeliseks on see, et ta võimaldab esitada tasapinnal kerapinna kujundeid loomutuult, ilma moonutamisetä, ja see, et ringid kerapinnal tulevad selles projektsioonis ka tasapinnal ringidena (või sirgetena). Kuid projektsiooni puuduseks on väga tunduv mastaabi moonutamine. Sama kaarepikkus kerapinnal tuleb stereograafilises projektsioonis seda pikema lõiguna, mida kaugemale minna projektsiooni keskmes (meie juhul taevapoolusest). Mastaabi moonutamisest on tingitud asjaolu, et tähtkujud meie kaardi välisosadel on ebaloomulikult suured, võrreldes tähtkujudega kaardi keskpunkti ligilad. Samal põhjusel on ida- ja läänepunkt, asetsedes tegelikult võrdel kaugusel lõuna- ja põhjapunkti, projektsioonis põhjapunktile lähemal (ida- ja läänepunkt on ühtlasi taevakvaatori lõikepunktid horisondiga). Ka seniitpunkt pole horisondi kujutise keskpunkt, vaid kaldub tunduvalt põhja poole. Neid paratamatuid moonutusi, mis tekivad kerapinna kujutamisel tasapinnal, tuleb meeles pidada kaardi kasutamisel.

Esimesel lehel asuva šablooni sisemine, ekstsentriline ring kujutab horisonti juurdemärgitud ilmakaartega. Kui ühendada joonisel lõuna- ja põhjapunkt sirgega, saame taevameridiaani kujutise. Sellel sirgel asetseb taevapoolus, mis on šablooni välise ringi keskpunkt ja on märgitud ristiga. Tõmmates poolusest välise ringi mingi tema raadiuse, saame teatava käänderingi kujutise. Nii võime joonestada näit. keskmise Päikese käänderingi kujutise. Šablooni välise ringi juurde ongi märgitud keskmised päikeseajad, mis vastavad keskmise Päikese käänderingi asendile. Lõigates šablooni välja tema sisemist ja välist ringi mööda ja asetades ta taevakaardile nii, et šablooni väline serv ühtiks kaardi välise jaotatud riba sisemise piirjoonega, näeme šablooni avases mingil momendil meie laiusel nähtava tähistava osa. Edasi tuleb šabloon pöörata õigesse asendisse, mis vastaks antud ajamomendile. Selleks tuleb asetada ühtima keskmine Päikese käändering kaardil ja šabloonil, s. o. pöörata šablooni nii kaua, kuni soovivat kella-aeg šabloonil ühtib soovitud kuupäevaga kaardi välisel ribal. Nii saamegi anda horisondile õige asendi, mis vastab soovitavale kellaajale ja kuupäevale. Šablooni avases näeme siis tähistava kujutist, mis sel kuupäeval ja kellaajal on nähtav. Pööratava taevakaardi reeglits on seega: kella-aeg tuleb asetada ühtima kuupäevaga.

Et šabloonile on märgitud keskmised päikeseajad, meil aga on kasutusel Moskva aeg, siis enne kaardi kasutamist tuleb Moskva aeg ümber arvutada keskmiseks ajaks. Ümberarvutamise reeglits on: keskmine aeg võrdub Moskva ajaga pluss koha geograafiline pikkus miinus 3 tundi. Näiteks Tartu jaoks saame keskmise päikeseaja, lahutades Moskva ajast 1 tund 13 minutit; Tallinna puhul tuleb lahutada Moskva ajast 1 tund 21 minutit. Ümberarvutamise lihtsustamiseks võib igaüks kanda šablooni välimise ringi kõrvale asuvasse tühjaks jäetud ringi Moskva aja, mis vastab keskmisele päikeseajale antud vaatluskohas.

Pööratava taevakaardi mugavaks kasutamiseks on soovitatav kleepida tema mõlemad osad kartongile. Pööratavat taevakaarti on võimalik valmistada nõnda,

et šablooni ei tarvitseks hoida kaardi küljes käega kinni, vaid seda ülesannet täidaks kartongist kate ümmarguse avausega. Avaus peab olema niisama suur nagu kaardi välise jaotatud riba sisemise piirjoonega piiratud ring. Kate tuleb kinnitada kartongist alusele, mille peale on kleebitud tähekaart. Siinjuures peab katteavause keskpunkt ühtima kaardi keskpunktiga. Et kaardi riba otsetõusude ja kuupäevade jaotustega oleks pärast katte kinnitamist nähtav, tuleb ta enne kaardi pealekleepimist kaardi küljest ära lõigata ja katte avause serva ümber õiges asendis peale kleepida. Enne katte kinnitamist tuleb katte ja avause vahele asetada šabloon. Et šabloon püsiks katte all, peab ta olema välja lõigatud muudugi pisut suuremana kui katte avaus, seega suuremana, kui joonisel on näidatud. Siinjuures tuleb hoolitseda, et šablooni väline serv oleks ringjoon, mille tsenter asetseb taevapooluses (märgitud joonisel ristiga). Katte ja aluse vahele tuleb kinnitada ka šablooni kartongist hoidja (või mitu hoidjat). Hoidja ülesandeks on takistada šablooni nihkumist, võimaldades tal pöörelda ainult ümber kaardi keskpunkti (taevapooluse). Hoidja võib olla näiteks kartongi-leht ümmarguse avausega, mille raadius võrdub šablooni omaga.

Pööratavat taevakaarti on võimalik valmistada ka teisiti, kleepides šablooni kaardi kätte ja lõigates viimasesse šablooni horisondijooni järgi avause. Ümmargusele kartongitükile kleebitud tähekaart asetatakse katte ja aluse vahele nii, et taevapoolus kaardil ja šabloonil ühtiks. Kaart peab olema pööratav taevapooluse ümber. Selleks on kõige lihtsam kinnitada kaart läbi pooluse torgatud nõõpnõela või traaditüki abil aluse külge. Et kaardi väline jaotatud riba oleks nähtav, tuleb kattedest välja lõigata hobuserauakujuline avaus, mis peab ulatuma vähemalt kella 16-st kella 24-ni ja kella 0-st kella 8-ni. Katte ja aluse serval tuleb välja lõigata veel avaus, kus paistaks kaarti kandva kartongi serv. Sellest haarates võime pöörata kaarti.

Pööratav taevakaart võimaldab šablooni (või kaardi) pööramise teel saada täit ettekujutust sellest, kuidas muutub tähistaeva vaade ööpäeva ja aasta-aegade jooksul. Kui tahame võrrelda vaatluste puhul kaarti tähistaevaga, peame kaardi õigesti orienteerima. Kaarti tuleb käes hoida nii, et see ilmakaar, kuhu me vaatame, oleks kaardil all. Siis vastab kaardi osa šablooni avause alumisest servast kuni umbes avause keskkohani taevaosale horisondist seniidini.

Vaatlused pööratava taevakaardi abil kergendavadunduvalt heledamate tähtede ja tähtkujude tundmaõppimist. Tähtkujude paremaks eristamiseks on kaardil heledamad tähed ühendatud tähtkujudeks sirgete joontega (erijuhtudel on punktiiriga ühendatud tähti ka eri tähtkujudest).

Pööratava taevakaardi abil on võimalik lahendada veel mitmesuguseid praktilise astronoomia ülesandeid, nagu leida, mis kell tõuseb või loojub mingi taevakeha, mitu tundi ta on nähtav öö jooksul, millised tähtkujud ja kus ilnakaares on antud aastaajal nähtavad jt. Näit. tõusu aja määramiseks tarvitseb vaid taevakaarti pöörata niikaua, kuni vastav täht asub horisondil idataevas (loojangu aja määramiseks läänetaevas), tõusu (loojangu) aja loeme ära kuupäeva vastas. Analoogiliselt võib leida Päikese, Kuu ja planeetide tõusu ja loojangu aegu; selleks on tarvis enne need märkida taevakaardile.

Teiste ülalmainitud ja analoogiliste ülesannete lahendamine on samuti lihtne ning ei vaja täiendavaid seletusi.

SISUKORD.

I. SISSEJUHATUS.

1. Astronoomia aine	3
2. Astronoomia põhimeetodid. Teleskoobid. Observaatoriumid	5
1. Teleskoobid ja fotograafia	5
2. Spektraalanalüüsi kasutamine	9
3. Observaatoriumid. Astronoomiliste vaatluste iseärasused	12
3. Tähistaevas, tema näiv pöörlemine. Tähtkujud	15
1. Tähtkujud	15
2. Tähtede ja taeva heledus ning värvus	15
3. Taeva ööpäevane näiv pöörlemine	16
4. Geograafilise laiuse määramine	20
5. Kulminatsioonid	20
4. Ekliptika ja «rändtähed»	21
5. Tähekaardid. Taevakoordinaadid. Taevakaardid ja nende kasutamine	24
1. Kaardid ja koordinaadid	24
2. Taevakeha kulmineerimiskõrgus	25
6. Aja mõõtmise süsteemid ja ühikud	26
1. Päikeseööpäev ja ajateenistus	26
2. Kohalik aeg ja dekreediaeg	27
3. Geograafilise pikkuse määramine	29

II. PÄIKESESÜSTEEMI EHITUS

7. Päikesesüsteemi ehitus	30
8. Planeetide ja tehistaevakehade liikumise seadused	33
1. Orbiidi kuju ja liikumise kiirus	33
2. Kepleri teine ja kolmas seadus	34
9. Planeetide konfiguratsioonid ja sünoodilised tiirlemisperioodid	36
1. Planeetide konfiguratsioonid	36
2. Sünoodilised tiirlemisperioodid	38
10. Häired planeetide liikumises	39
1. Häired planeetide liikumises	39
2. Neptuuni avastamine	40
3. Looded	41
4. Taevakehade massi määramine	42
11. Võitlus teadusliku maailmavaate eest	43
1. Varasemad ettekujutused universumist	43
2. Koperniku revolutsiooniline avastus	45
3. Galilei avastused. Kiriku võitlus teadusega	46
12. Maa, tema kuju, mõõtmed ja mass	48
1. Maa kuju ja mõõtmed	48
2. Maa mass ja tihedus	52

13. Maa ööpäevase pöörlemise ja ümber Päikese tiirlemise tõestused	52
1. Foucault' katse	52
2. Maa ümber Päikese tiirlemise tõestus	53
14. Kauguste määramine Päikesesüsteemi kehadeni. Nende kehade mõõtmete määramine	54
1. Kauguste määramine	54
2. Taevakehade mõõtmete määramine	56
III. PÄIKESESÜSTEEMI PLANEETIDE FÜÜSILINE LOOMUS.	
15. Suurte planeetide üldine iseloomustus ning nende uurimise meetodid	57
16. Maa-rühma planeetid	59
1. Maa-rühma planeetide iseloomustus	59
2. Maa. Atmosfäär	59
3. Maa. Magnetväli	61
17. Planeetid Merkuur, Veenus ja Marss	64
1. Päikeselähedased planeetid	64
2. Marss	65
18. Hiiplaneetid	67
19. Kuu ja planeetide kaaslaste liikumine. Varjutused	70
1. Planeetide kaaslased ja Kuu	70
2. Päikese- ja kuuvarjutused	73
20. Füüsilised tingimused Kuul ja tema pinnaehitus	76
1. Füüsilised tingimused Kuul	76
2. Kuu pinnaehitus	76
21. Asteroidid ja meteoriidid	80
1. Asteroidid	80
2. Boliidid ja meteoriidid	81
22. Komeetid ja meteorid	84
1. Komeetide liikumine ja nende avastamine	84
2. Komeetide füüsiline loomus	85
3. Komeetide päritolu ja nende lagunemine meteorivooludeks	88
IV. PÄIKE JA TÄHED.	
23. Lähim täht — Päike	91
1. Päikese energia ja nähtav pind	91
2. Päikese atmosfäär	95
24. Tähtede spektrid, temperatuurid, absoluutsed heledused ja kaugused	99
1. Tähtede spektrid, värvus ja temperatuur	99
2. Aastaparallaks ja tähtede kaugused	100
3. Tähtede absoluutsed heledused ja tähesuurused	101
25. Kaksiktähed. Tähtede massid	103
1. Visuaalsed kaksiktähed	103
2. Spektraalsed kaksiktähed	105

3. Varjutusmuutlikud tähed — algoliidid	105
4. Tähtede mass	107
26. Muutlikud tähed ja noovad	107
1. Muutlikud tähed	107
2. Noovad	109
3. Supernoovad	110
27. Tähtede karakteristikute mitmekesisus ja nende seaduspärasused	112
1. Tähtede diameetrid ja tihedused	112
2. Tähtsamad seaduspärasused	114

V. UNIVERSUMI EHITUS.

28. Meie Galaktika	117
1. Linnutee ja Galaktika	117
2. Täheparved ja -assotsiatsioonid	120
29. Difuusne mateeria	122
1. Tähtedevaheline tolm ja tumedad udukogud	122
2. Heledad difuussed tolmudukogud	123
3. Difuussed gaasudukogud	123
4. Neutraalne vesinik	123
5. Magnetväli, kosmilised kiired ja raadiokiirgus	126
30. Tähtede liikumine Galaktikas	126
1. Tähtede omaliikumine	126
2. Tähtede ruumkiiruse komponendid	126
3. Päikesesüsteemi liikumine	127
4. Galaktika pöörlemine	128
31. Tähesüsteemid — galaktikad ja metagalaktikad	128
1. Korrapärased galaktikad	128
2. Raadiogalaktikad ja kvasarid	134
3. Metagalaktika ja kosmoloogia	136

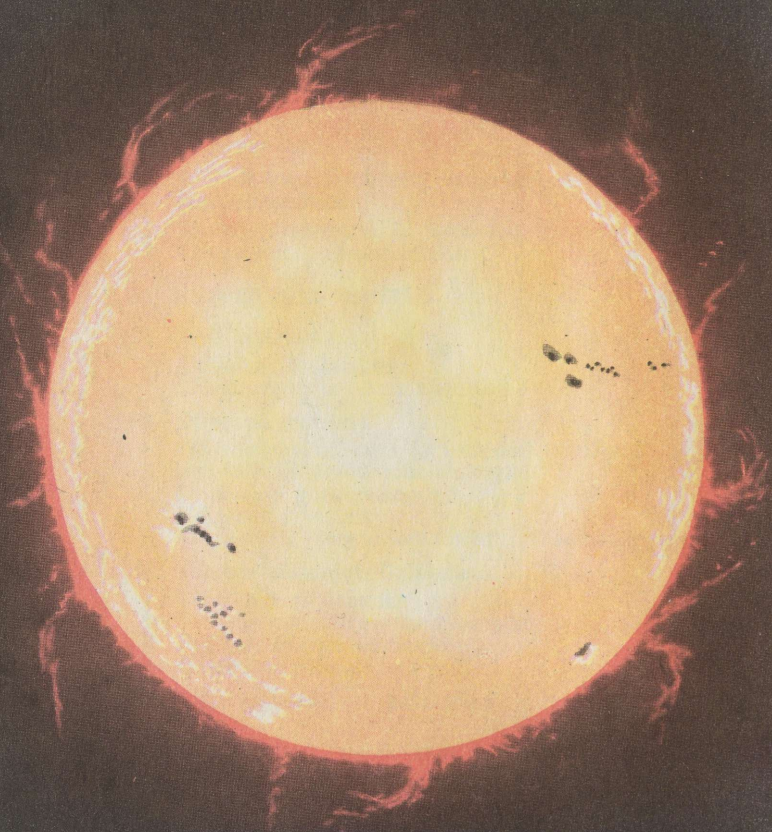
VI. TAEVAKEHADE TEKKIMINE JA ARENEMINE.

32. Taevakehade vanus, galaktikate ja tähtede tekkimine	139
1. Taevakehade vanus	139
2. Galaktikate ja tähtede tekkimine	140
33. Tähtede arenemine	141
34. Planeetide süsteemide ja Maa tekkimine	143
Lisad	146

Борис Александрович Воронцов-Вельяминов. АСТРОНОМИЯ. Учебник для XI класса. На эстонском языке. Перевели с русского А. Ланг и Р. Сийрак. Художественное оформление Ю. Аррака. Издательство «Валгус». Таллин, Пярнуское шоссе, 10. Toimetaja M. Soosaar. Kunstiline toimetaja H. Keigo. Tehniline toimetaja E. Sagris. Korrektorid S. Härmatis, H. Uuspõld.

Laduda antud 24. VII 1970. Trükkida antud 13. X 1970. Kohila Paberivabriku trükipaber nr. 2, 60×90/16. Trükipoognaid 9,75 + 0,14 (lisa). Arvestuspoognaid 10,63. Trükiarv 13 000. Tellimuse nr. 5293. Trükkikoda «Kommunist», Tallinn, Pikk t. 2. Hind 21 kop.

${}^1_0\text{D} + {}^2_1\text{T} \rightarrow {}^4_2\text{He}$



Päikese plekid ja protuberantsid.



Päikese spekter.



Siiriuse spekter.



α Orionis spekter.



Vesiniku spekter.



Pidev spekter.



Udukogu. Kalavõrk Luige tähtkujus.

A
31035

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00815835 6

