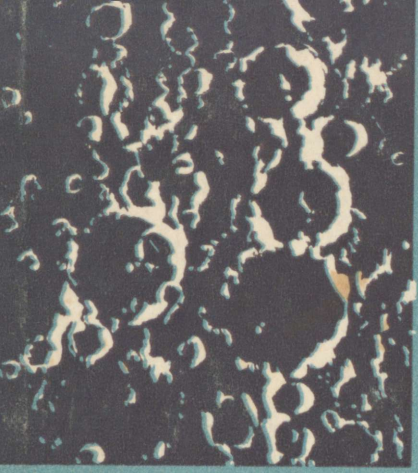
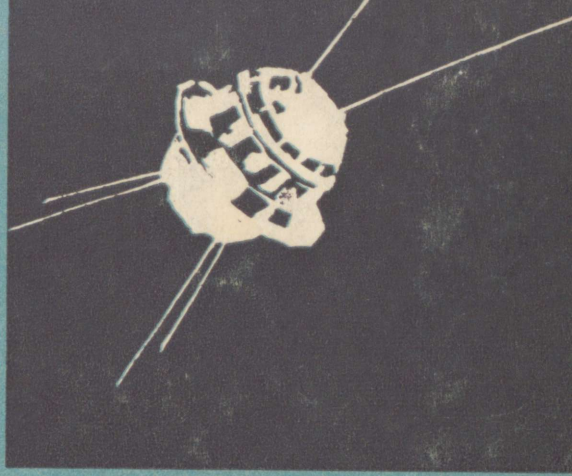
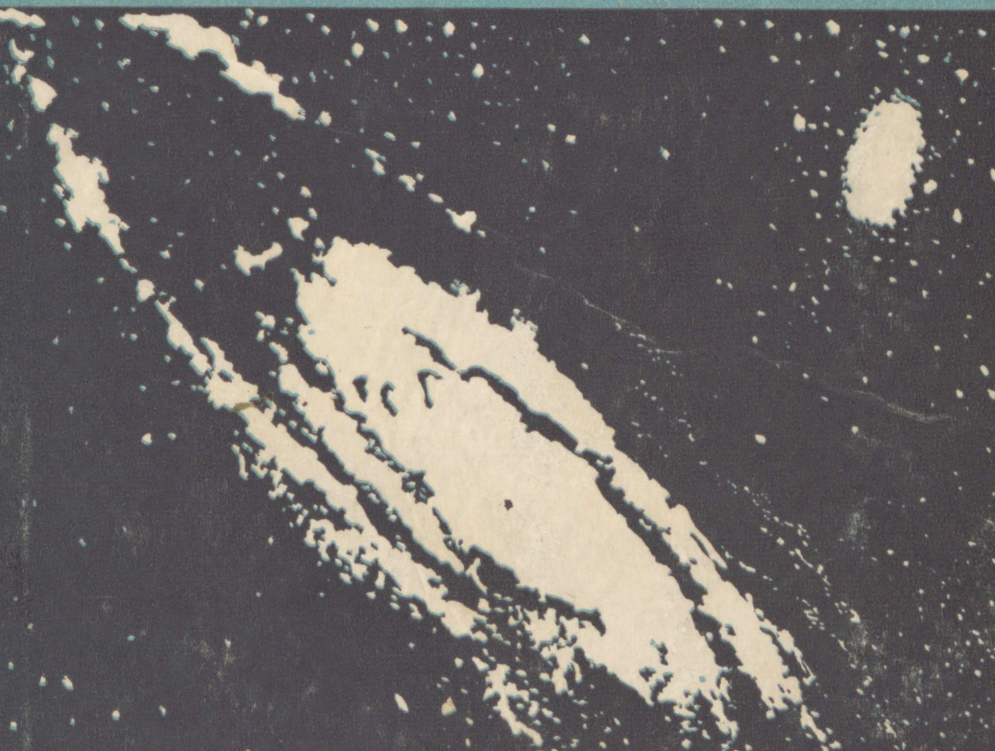




B. VORONTSOV-VELJAMINOV

Astronoomia



A-28986

B. VORONTSOV-VELJAMINOV

ASTRONOOMIA

ÕPIK KESKKOOLILE

11. trükk

KIRJASTUS «VALGUS» · TALLINN 1968

52
V86

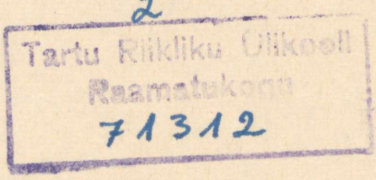
Originaali tiitel:

Б. А. Воронцов-Вельяминов
АСТРОНОМИЯ
Учебник для средней школы
Утвержден Министерством просвещения РСФСР
Издание двадцать второе
Издательство «Просвещение», 1968

Vene keelest tõlkinud A. Marksoo ja R. Siirak

Kunstiliselt kujundanud R. Pangsepp

Tõlge kinnitatud Eesti NSV Haridusministeeriumi poolt.



SISSEJUHATUS.

1. **Astronoomia aine.** Astronoomia on teadus taevakehadest. Astronoomia uurib taevakehade ja nende süsteemide liikumist, ehitust ja arenemist ning rakendab avastatud seaduspärasusi vastavalt inimkonna praktilistele vajadustele. Astronoomia on vanim kõigist teadustest. Tema alged olid olemas Babüloonias ja Egiptuses juba mitu tuhat aastat tagasi.

Juba esimesed taeva vaatlejad panid tähele, et Päikese ja tähtede asendi järgi võib määrata aega. Näiteks keskpäeval on Päike antud päeval taevas kõige kõrgemas asendis. Kuu kuju muutumise (sirp, täiskuu jne.) ning Päikese ja teiste taevakehade asendi järgi taevavõlvil võib mõõta suuri ajavahemikke, s. t. võib koostada kalendri. Nomaadid ja meresõitjad õppisid tähtede järgi määrama neile vajalikku suunda.

Neid eesmärke teenib astronoomia ka tänapäeval. Tähtede abil määratakse laevade asukohad ja liikumissuunad merel ning lennukite asukohad ja liikumissuunad õhus. Raadio kaudu edasiantava õige aja määravad astronoomid taevakehade vaatlemise alusel. Ilma taevakehade vaatlemiseta ei oleks saanud koostada ka täpseid geograafilisi kaarte. Seega astronoomia tekkis ja areneb inimese praktiliste vajaduste alusel.

Igapäevast Päikese tõusu ja loojangut ning tähtede näivat liikumist vaadeldes mõtlesid inimesed varem, et kogu tähistaevas liigub ümber paigalseisva Maa. Maine ja taevane maailm vastandati teineteisele.

Kauge mineviku inimeste eksiarvamustel põhinevad naiivsed kujutlused maailmast kajastuvad religioossetes õpetustes. Nendes õpetustes räägitakse, et maailm on loodud jumala või jumalate poolt ning ei muutu. Maailma tõelise ehituse avastamine näitas inimestele, et maailm ei ole hoopiski niisugune, nagu teda kujutatakse «pühades» raamatutes.

Tehti kindlaks, et Maa on samuti taevakeha, et ta ei paista teiste taevakehade hulgas mitte millegi poolest silma. Jõuti selgusele, et Maa ja temaga sarnased taevakehad, mida nimetatakse planeetideks, liiguvad ümber Päikese, et tähed kujutavad endast meie Päikesega sarnaseid taevakehi, s. o. nad koosnevad hõõgu-

vatest gaasidest, nende mõõtmed on hoopis suuremad Maa mõõtmetest ja paljudel juhtudel isegi ületavad tunduvalt meie määratu suure Päikese mõõtmeid.

Taevanähtuste, nagu päikesevarjutus, komeetide ilmumine jne., tundmaõppimine tegi lõpu ebausklikule hirmutundele nende nähtuste ees. Ebausk, mis põhineb maailma tõelise ehituse mittetundmisel, võib tänapäeval säilida ainult mahajäänud inimeste juures, kes ei tunne maailma ehitust.

Teadus taevakehadest räägib, et on olemas taevakehi, mis täiesti erinevad meie maakerast, et elusorganismid ei esine mitte ainult Maal, et kõik maailmas (universumis) muutub loodusseaduste järgi, et maailm on igavene, mida pole kunagi loodud ning mis ei lakka kunagi olemast. Astronoomia aluste tundmine aitab omandada eesrindlikku teaduslikku maailmavaadet.

Astronoomia andmed on vajalikud teiste teaduste, näiteks füüsika, keemia, geoloogia arenguks. Nii avastasid astronoomid Päikesel heeliumi olemasolu enne, kui see avastati Maal. Maailmaruumis on avastatud selliseid aine olekuid, mida Maal seni pole õnnestunud saavutada: me ei suuda veel gaasi nii tugevasti kokku suruda, et selle tihedus oleks tuhandeid kordi suurem elavhõbeda tihedusest; me ei suuda pikemat aega säilitada miljarditesse kraadidesse ulatuvat temperatuuri, me ei tunne veel mõningaid raadiokiirguse liike jne.

Aidates teisi teadusi, kasutab astronoomia omakorda nende teeneid. Füüsikud aitavad astronoomidel leida uusi meetodeid taevakehade uurimiseks, matemaatikud annavad uusi, paremaid meetodeid mitmesugusteks arvutusteks, milleta astronoomid ei saa läbi.

Astronoomid aitavad mõnikord ajaloolastel kindlaks määrata mõningate kauges minevikus toimunud sündmuste aega. Näiteks Väike-Aasias toimus ühe lahingu (meedlaste ja lüüdialaste vahel) ajal ebaharilik nähtus — täielik päikesevarjutus. Astronoomid arvutasid välja, et see varjutus võis antud maakohas nähtav olla 28. mail 585. a. enne meie ajaarvamist. Nii tehti kindlaks ajaloolise sündmuse aeg.

Paljusid taevanähtusi ei saa korraga tähele panna, nad selguvad alles erinevatel aegadel tehtud vaatluste üksteisega võrdlemise tulemusena.

Kuni viimase ajani oli astronoomia puht vaatlustel põhinev teadus: kõik järeldused tehti astronoomias ainult vaatluste alusel, sest taevakehad ei olnud inimestele kättesaadavad. Kosmiliste rakettide väljasaatmine, kunstlike kaaslaste ja planeetide loomine ning inimese lennud kosmoses on tänapäeval loonud uued võimalused maailmaruumi tundmaõppimiseks.

Ilma taevanähtustega tutvumata jääb astronoomia tundmaõppimine raamatulikuks ja surnuks, kujutlused aga ebaselgeteks ja ebakindlateks.

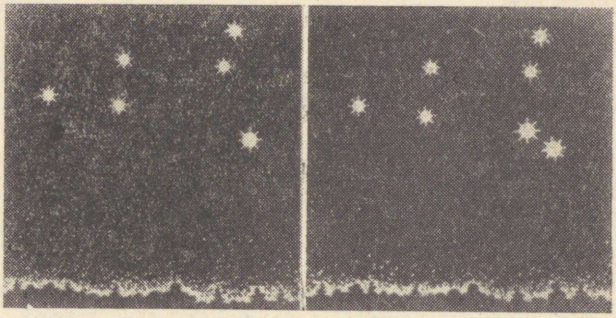
Üldisi andmeid universumist. Enne kui asuda astronoomia aluste õppimisele, loome endale üldise ettekujutuse meid ümbritsevast maailmaruumist.

Päike loojus, jättes enda järel taevasse purpurpunase eha. Eha — see on päikesekiirgus horisondi alt, mis valgustab Maa atmosfääri ülemisi kihte. Järk-järgult muutub meie ümber pimedamaks ning saabub öö.

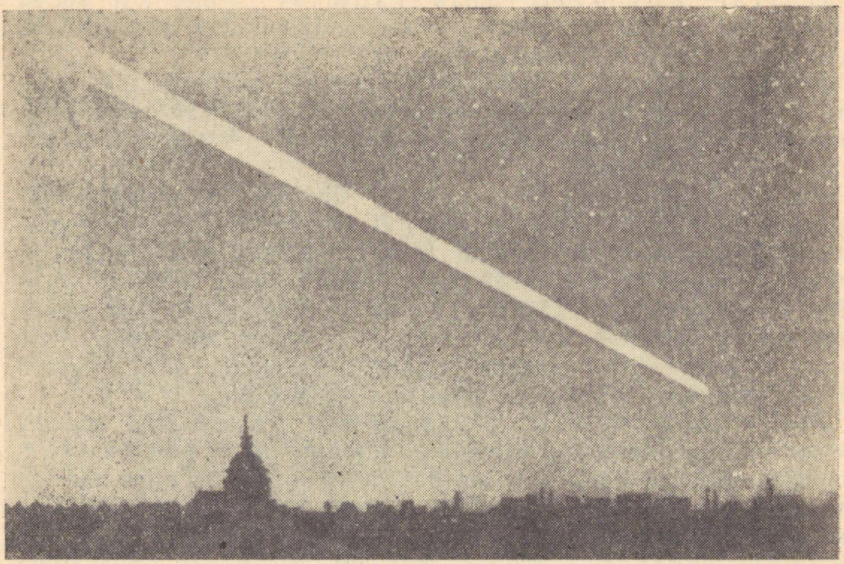
Kui öö on pime ning taevas pilvitu, siis võib taevas näha hulgaliselt tähti. Ei ole raske märgata, et tähistaevas pöörleb aeglaselt tervikuna, kusjuures enamik tähti tõuseb horisondi tagant ja loojub horisondi taha, samuti nagu Päike ja Kuu. Tähtede tõusmine ja loojumine ning tähistaeva näiv pöörlemine on Maa ümber oma telje pöörlemise tulemus, mille periood on 24 tundi. Meie ainult ei tunne seda pöörlemist ning meile näib, et universum pöörleb meie ümber, meie ise oleme aga liikumatud.

Peale tähtede, mis ei muuda oma vastastikust asendit taevas ning moodustavad juhuslikud kogumikud — tähtkujud, on palja silmaga näha viis heledat taevakeha, mis päev-päevalt muudavad aeglaselt oma asukohta tähtede keskel, nagu rändaksid nad nende vahel (joon. 1). Vanad kreeklased nimetasid neid seepärast planeetideks (sõnast *planetes* — rändav). Teed, mida mööda planeedid tähtede keskel liiguvad, on silmuselised (joon. 18), sest planeedid ja Maa koos vaatlejaga liiguvad ümber Päikese erineva kiiruse ja perioodiga.

Planeedid on kerakujulised kehad. Nad on Päikesest palju väiksemad ega kiirga ise valgust. Me näeme neid ainult seepärast, et nad peegeldavad neile langevat Päikese valgust. Maaga kokku tuntakse üheksat planeeti. Teleskoobis on planeedid nähtavad väikeste ketastena, erinevalt tähtedest, mis paistavad teleskoobis valguspunktidena. Palja silmaga vaadates on võimatu planeete tähtedest eraldada, kui ei pöörata tähelepanu nende nihkumisele



Joon. 1. Lõvi tähtkuju (vasakul). Paremal — sama tähtkuju ajal, mil temas asub hele planeet.



Joon. 2. 1843. a. suur sabaga komeet.

tähistaeva foonil. Rida planeete on ümbritsetud atmosfääriga nagu Maagi ja võib olla, et mõnel nendest on olemas ka elu.

Maa oleks maailmaruumist nähtav samuti tähekesena, nagu meile on nähtavad planeedid.

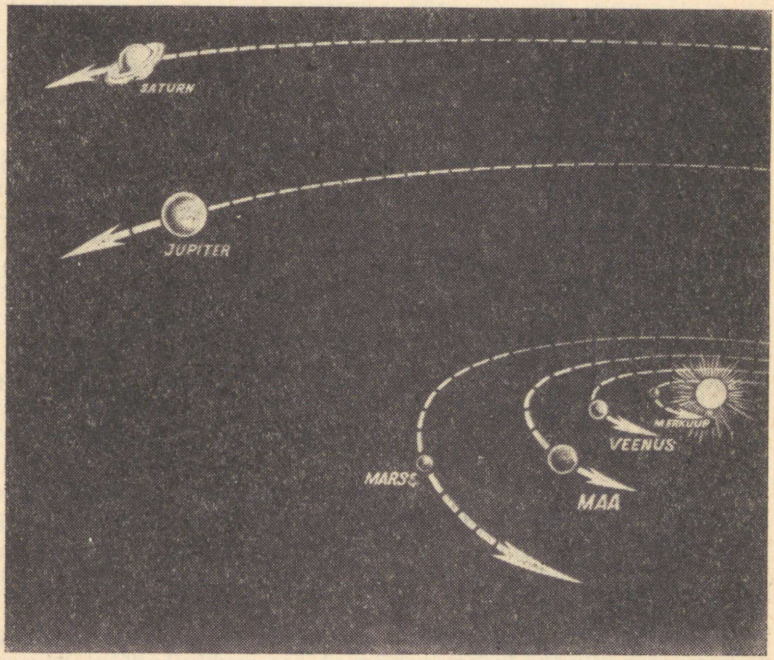
Ümber Maa tiirleb tema looduslik kaaslane — K u u. Kuu teeb ringi ümber Maa ühe kuuga ja seepärast on tema Päikese poolt valgustatud külg pööratud meie poole mitut moodi. Seetõttu Kuu muudabki oma kuju, ehk, nagu öeldakse, muudab faasi: mõnikord on ta nähtav sirbina, mõnikord poolringina või täisringina (täiskuu). Mõnel planeedil on mitu kaaslast (kuud).

Peale planeetide ja nende kaaslaste tiirleb ümber Päikese veel suur hulk väikesi planeete (asteroide) ja k o m e e t e. Komeet on tähistaeva foonil aeglaselt asendit muutev udukogutaoline taevakeha, millest mõnikord väljuvad kiired või hele riba — komeedi saba (joon. 2). Komeedid koosnevad väikesest tahkest tuumast ja seda ümbritsevast määratu suurest pilvest, mis koosneb hõredast gaasist ja tolmust.

Päike, tema ümber tiirlevad planeedid koos kaaslastega ning komeedid ja asteroidid moodustavad p ä i k e s e s ü s t e e m i (joon. 3). Päikesesüsteemi suuruse all mõistetakse harilikult selle peaaegu ringjoonelise orbiidi diameetrit, millel liigub ümber Päikese kõige kaugem tuntud planeetidest — Pluuto. See diameeter

on Maa orbiidi diameetrist umbes 40 korda suurem (Maa orbiidi raadius on umbes 150 miljonit kilomeetrit). Paljud komeedid aga eemalduvad aeg-ajalt Päikesest kaugusele, mis on palju kordi suurem kui Pluuto kaugus.

T ä h e d on isehelenduvad, hõõguvatest gaasidest koosnevad kerakujulised kehad, sarnanedes seega Päikesega, mille pinna temperatuur on 6000°. Kõrvuti nende tähtedega, mis on sarnased Päikesega, esineb tähti, mis on oma mõõtmetelt kas suuremad või väiksemad, mille temperatuurid on kas kõrgemad või madalamad, mis on rohkem või vähem heledad. Seega on tähtede maailm erakordselt mitmekesine. Tõenäoliselt on paljud tähed ümbritsetud planeetidega ning mõnel neist peaks esinema elu. Tähed liiguvad kiirusega, mis küünib sadadesse kilomeetritesse sekundis, kuid seejuures nad ei põrka kokku, sest kaugused tähtede vahel on määratu suured. Näiteks on kaugus lähemate tähtedeni 3000 korda suurem päikesesüsteemi läbimõõdust. Nendelt tuleval valgusel kulub meieni jõudmiseks umbes 4 aastat, kusjuures valgus läbib sekundis 300 000 km. Samal ajal kulub valgusel Päikeselt meieni jõudmiseks 8 minutit. Paljud tähed moodustavad süsteemid, mis



Joon. 3. Maa ja lähemad planeedid nende liikumises ümber Päikese.

koosnevad kahest, kolmest või enamast tähest, aga samuti ka *täheparved* (kümned tuhanded kuni sajad tuhanded tähed).

Tähed ja täheparved kokku moodustavad hiiglasliku tähesüsteemi, mida nimetatakse *Galaktikaks*. Valguskiir kulutab Galaktika ühest äärest teiseni jõudmiseks umbes 100 000 aastat.

Meie Päike on üks 150 miljardist tähest, mis moodustavad Galaktika. Päike tiirleb ümber Galaktika keskpunkti perioodiga umbes 200 milj. aastat. Määratu suur hulk tähti, mis kuuluvad Galaktika koosseisu, kuid pole palja silmaga eraldatavad, paistavad meile nõrgalt helenduva ning kogu taevast ümbritseva vöödina, mida nimetatakse *Linnuteeks*.

Väljaspool Galaktikat näeme me kaasaegsete teleskoopidega umbes miljardit temale sarnast tähesüsteemi, mis suurest kaugusest on näha nagu väikesed, vaevalt eraldatavad heledad laigukesed.

Planeetide ja tähtede vaheline ruum, mida nimetame õhutühjaks, ei ole tegelikult tühi; ta on täidetud gaasi molekulide ja aatomitega, tolmuosakestega, ning läbi selle liiguvad kogu aeg taevakehade valguslained ja raadiokiirgus.

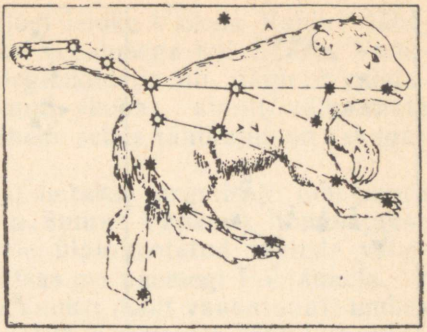
Universum on lõputu; loendamatute universumi kehadega toimuvad pidevad muutused, mida õpibki tundma astronoomia.

2. Taevavõlv ja tähtkujud. 1. *Taevavõlv*. Kui me asume lagedal kohal (kas põllul, merel või mujal), siis paistab taevas, nii selgel päeval kui ka pilves ilmaga, meie kohale kummuli keeratud kuplina. See taevakuppel ehk taevavõlv on selgetel päevadel helesinine, pilves ilmaga aga hall; selgetel öödel on ta tähtedega nagu üle puistatud.

Taevakehad ainult paistavad asetsevat taevavõlvil, kõik nagu ühel ja samal kaugusel meist. Tegelikult aga asuvad kõik need taevakehad meist väga erinevates ning väga suurtes kaugustes. Täpselt samuti pole tegelikult olemas ka taevavõlvi.

Päevase taeva helesinine värvus seletub sellega, et Maad ümbritsev atmosfäär hajutab teda läbivat valgust igas suunas. Valge valgus koosneb tegelikult vikerkaarevärvuste (spektrivärvuste) segust, õhkkond hajutab aga helesiniseid kiiri tugevamini kui teisi spektrivärvusi. Selle tulemusena ongi õhk nagu helesiniseks «värvitud».

Mida kõrgemal maapinnast, seda õhem õhukiht jääb vaatleja kohale ning seda nõrgemini hajutab õhk valgust. Väga kõrgetelt mägedelt ning lennukitelt paistab taevas märgatavalt tumedamana ning temal võib isegi päeval märgata heledamaid tähti. Teleskoobis paistab taevas samuti tumedamana kui palja silmaga vaadates. Seepärast võib heledaid tähti näha teleskoobi abil isegi päeval. Järelikult, kui me päeval taevavõlvil tähti ei näe, siis ainult seepärast, et meid segab Maa atmosfääris hajunud valgus.



Joon. 4. Suure Karu tähtkuju joonis vanaaegsel tähekaardil.

Täieliku päikesevarjutuse ajal taevas tumeneb ning heledaid tähti on võimalik vaadelda ilma teleskoobi abita.

Kõige soodsamate vaatlustingimuste korral on palja silmaga võimalik näha korraga horisondi kohal mitte rohkem kui 3000 tähte.

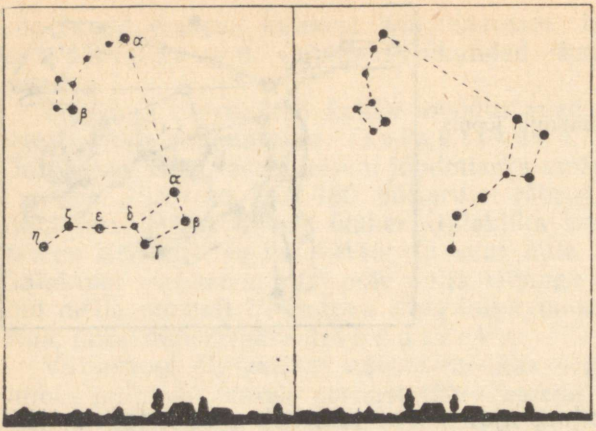
2. T ä h t k u j u d. Taevas orienteerumise lihtsustamiseks jaotasid vaatlejad juba vanal ajal tähed mitmesugusteks kujunditeks, mida nimetatakse tähtkujudeks. Nendele tähtkujudele anti fantastilised nimed, mis on püsinud tänapäevani. Enamik neist nimedest (näiteks Suur Karu) tundub meile nüüd veidrana, kuna tähtkujud kannavad esemete ja olendite nimetusi, millega tähtede paigutusel ei ole sageli midagi ühist (vt. joon. 4). Real juhtudel olid need nimetused seotud mitmesuguste vanade legendidega. Paljude rahvaste juures said enamtuntud tähtkujud omad, rahvuslikud nimetused, mis erinevad praegu teaduses kasutusele võetud nimetustest.

Tänapäeval mõistetakse tähtkuju all kindlaksmääratud taeva piirkonda. Kõik tähed, mis paistavad tähtkujude piiride sees, kuuluvad sellesse tähtkujusse.

Taevavõlvil eraldatakse üldse 88 tähtkuju. On küllalt, kui me teame ja oskame taevas leida mõne heledamaid tähti sisaldava tähtkuju. Tähtkujude leidmise kergendamiseks ühendatakse nende heledamad tähed mõtteliselt sirgjoontega nii, et saadakse lihtsad geomeetrilised kujundid või skemaatilised joonised.

3. T ä h e s u u r u s e d. T ä h t e d e n i m e t u s e d. Oma heleduse poolest on tähed väga erinevad. Kõige heledamaid tähti nimetatakse esimese suurusjärgu tähtedeks. 2,5 (täpsemalt 2,512) korda esimese suurusjärgu tähtedest nõrgema heledusega tähti nimetatakse teise suurusjärgu tähtedeks jne. Kõige nõrgema heledusega tähti, mis on terava silmaga nähtavad kuuvalguseta ööl, nimetatakse kuuenda suurusjärgu tähtedeks.

Nimetusel «tähesuurus» ei ole midagi ühist tähe tegelike mõõtmetega. Mõiste «tähesuurus» iseloomustab ainult tähtede hele-



Joon. 5. Suure Vankri ja Väikese Vankri tähtkujud mitmesuguses asendis horisondi suhtes.

dust. Mida nõrgem on tähe heledus, seda suurem on tema tähesuurus.

Tähtede heleduse täpsemad mõõtmised nõudsid murdarvuliste tähesuuruste, näiteks 1,2; 5,9 jne., kasutuselevõtmist. Taevakehade jaoks, mille heledus on suurem kui esimese suurusjärgu tähtedel, võeti kasutusele tähesuurus 0, tähesuurus —1, —2 jne. (vt. lisa IV).

Teleskoobis on näha kuuenda suurusjärgu tähtedest nõrgema heledusega seitsmenda, kaheksanda jne. suurusjärgu tähti.

Esimese suurusjärgu tähed said juba kauges minevikus iseseisvad nimed, näiteks Siirius, Veega, Altair. Peale selle märgitakse eraldi igas tähtkujus heledamaid tähti kreeka tähtedega α, β, γ jne. nende heleduse vähenemise järjekorras. Näiteks on Siirius ühtlasi α Suures Penis, Põhjanael α Väikeses Vankris, Riigel β Orionis jne. (vt. lisad II ja III). Tähekataloogides märgitakse tähtede asukoha koordinaadid taevas ja tähesuurus. Nende andmete järgi võib leida iga kataloogis märgitud tähe.

4. T ä h t k u j u d e a s e t u s t a e v a s. Igaüks peab oskama taevas leida Suure Vankri[1] tähtkuju. Teda iseloomustavad seitse heledat tähte. Neid tähti võib mõttes ühendada sirglõikudega nii, et saadakse kopa või varrega kastruli joonis (joon. 5). Tuleb ainult meeles pidada, et mõnikord on «kopa» vars suunatud vasakule, mõnikord üles või alla; kui aga «kopp» on nähtav meie pea kohal, siis on ta pööratud põhjaga üles.

[1] Suur Vanker — osa Suure Karu tähtkujust. *(Toim.)*

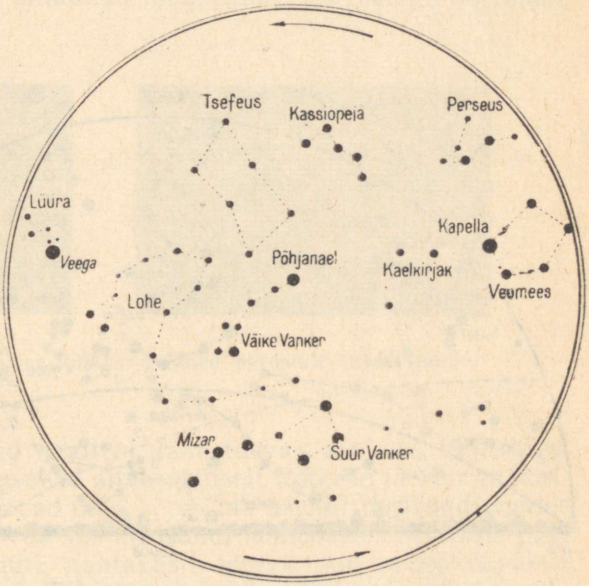
Lähtudes Suure Vankri tähtkujust leidke Väikese Vankri[2] tähtkuju. Tema seitse tähte (väiksema heledusega kui Suures Vankris), kui need mõttes ühendada sirglõikudega nii, nagu on näidatud joonisel 5, moodustavad samuti «kopa», ainult väiksemate mõõtmetega. Kõige heledamaks täheks selles tähtkujus on («kopa» varre otsas asuv) Põhjanael.

Põhjanael (α Väikeses Vankris) leitakse järgmiselt: läbi Suure Vankri kahe viimase tähe (β ja α Suures Vankris) tõmmatakse mõttes sirge ning kantakse sellele ülalnimetatud tähtede vahekaugus viis korda. Saadud lõigu otsas me näemegi Põhjanaela.

Teisel pool Põhjanaela (Suure Vankri poolt vaadatuna), umbes niisama kaugel kui Suur Vanker, asub Kassiopeia tähtkuju. Teda iseloomustavad viis küllalt heledat tähte, mis on paigutatud tähe W kujuliselt või alt väljavenitatud tähe M kujuliselt.

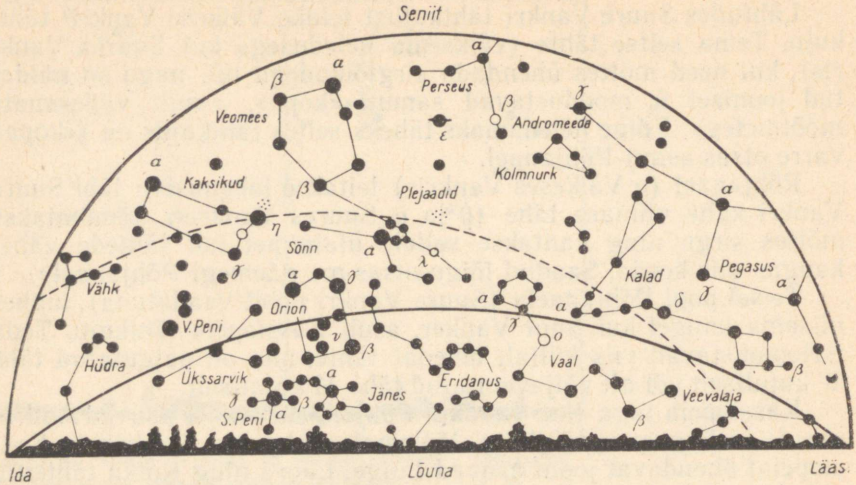
Kassiopeia taga (kui vaadata Põhjanaela poolt) asuvad Andromeeda ja Pegasuse tähtkuju. Mõlemal pool Suurt Vankrit ja Kassiopeiat ühendavat joont asuvad Luige, Lüüra ning Kotka tähtkuju (ühel pool) ja Veomehe, Kaksikute, Sõnni, Orioni ning Suure Peni tähtkuju (teisel pool). On tarvis osata leida taevas heledatest tähtedest koosnevaid tähekogusid, meelde jätta nende iseloomulikke asendeid. Rida tähtkujusid on kujutatud joonistel 6—8 ning raamatu lõppu paigutatud tähekaardil.

Tähtkujusid on taevas parem leida säärastel õhtutel, kus ei sega Kuu hele valgus.

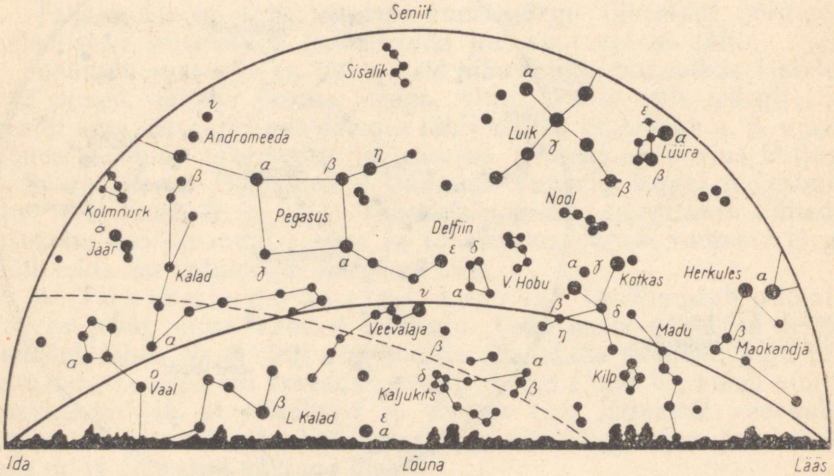


Joon. 6. Tähtkujud Põhjanaela ümbruses.

[2] Väike Vanker — osa Väikese Karu tähtkujust. *(Toim.)*



Joon. 7. Taevavõlvi lõunapoolse osa tähtkujud 23. septembril kl. 22 paiku (NSV Liidu keskmistel laiustel).



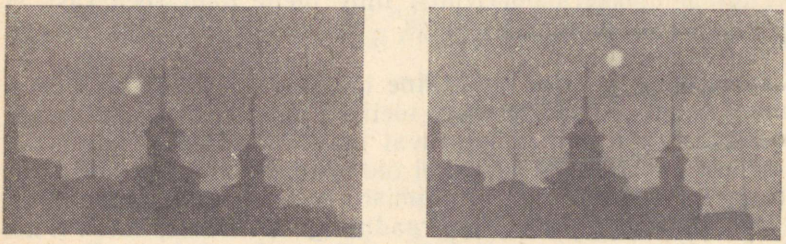
Joon. 8. Taevavõlvi lõunapoolse osa tähtkujud 22. detsembril kl. 22 paiku (NSV Liidu keskmistel laiustel).

5. Liikuv taevakaart. Tuleb silmas pidada, et mõlemad Vankrid, Kassiopeia ja mõned teised tähtkujud on alati horisondi kohal. Ülejäänud tähtkujud, näiteks Orion, on kord nähtavad, kord aga asuvad allpool horisonti. Erinevatel aastaaegadel ja ööpäeva erinevatel kellaaegadel on tähtkujud horisondi suhtes erinevates asendites. Tähtkujude kergemaks leidmiseks on mugav kasutada pööratavat taevakaarti, sest see näitab tähtkujude asendi horisondi suhtes aasta mistahes päeval ja kellaajal (vt. lisa IX).

Tähtkujude ülesleidmiseks on kasulik järjest üle minna juba tuttavatelt tähtkujudelt teistele, seni tundmatutele tähtkujudele. Seejuures tuleb kindlaks määrata, kuspool tuntud tähtkujust asub meie otsitav tähtkuju. Tuleb pöörata tähelepanu tähtede suurusjärkudele; kaardil on need märgitud erinevate suurustega ringide abil. Kuigi see on kokkuleppeline, on kaardil näidatud, kuidas on kasulik tähti omavahel joontega ühendada.

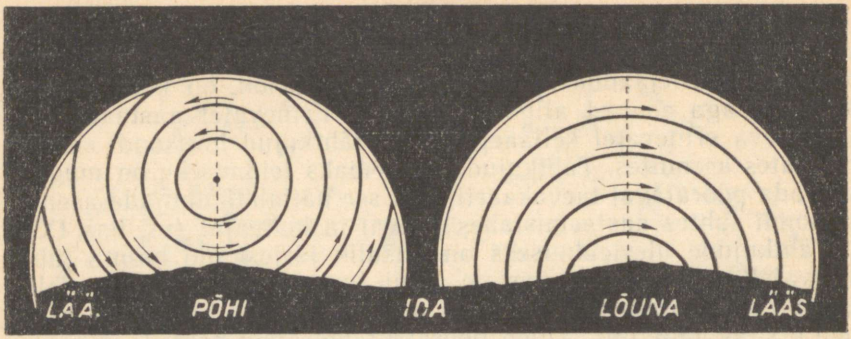
Eespool toodud tähtkujudest on Lüüra (heleda tähega Veega), Luik ja Kotkas (tähega Altair) kogu öö nähtavad suvel ja sügisel, Karjane (heleda tähega Arktuurus) kevadel ja suvel, Veomees, Sõnn, Orion ja Suur Peni (heleda tähega Siirius) aga talvel.

3. Tähistaeva ööpäevane pöörlemine. Maa pöörlemine. Läheme õhtul lagedale kohale ning märgime mingi idataevas horisondi lähedal oleva heleda tähe asukoha. Vaatleme seda tähte tunni aja pärast uuesti. Me paneme tähele, et täht on tõusnud horisondi suhtes kõrgemale ning kaldunud maapealsete esemetega võrreldes paremale (joon. 9).



Joon. 9. Taeva idapoolses osas nihkuvad tähed paremale ja ülespoole.

Tehes samasuguseid vaatlusi läänetaevas asuvate tähtedega, veendume, et tähed tõusevad analoogiliselt Päikese ja Kuuga horisondi idaosast, saavutavad oma kõrgeima asendi horisondi suhtes lõunataevas ning loojuvad siis horisondi läneosas. Järgmisel päeval liiguvad nad samuti, nähtavasti teevad nad seega ööpäeva jooksul taevas täisringi. Tähistaevas näib pöörlevat nagu tervik, tehes ühe pöörde ööpäevas.



Joon. 10. Taevakehade nähtavad ööpäevased teed horisondi suhtes põhja- ja lõunapoolkeral.

Tähelepanelikul vaatlemisel märkame, et erinevate tähtkujude tähed kujutavad erineva suurusega ringe.[1] Ühed tähtkujud, näiteks Pegasus, Perseus, Orion, Sõnn, kirjeldavad ööpäevaga suuremaid ringe, millest osa asub horisondi all. Teised tähtkujud, näiteks Suur Vanker, kirjeldavad väiksemate mõõtmetega ringe. Nende poolt kirjeldatud ringid jäävad horisondi kohale. Neid tähti nimetatakse m i t t e l o o j u v a t e k s.

Tegelikult pöörleb meie maakera, mitte taevas. Ta pöörleb vastupidi kellaosuti liikumise suunale (põhjapooluselt vaadatuna). Meie ei tunne maakera pöörlemist ning meile näib seepärast, et taevas pöörleb vastupidises suunas — kellaosuti liikumise suunas.

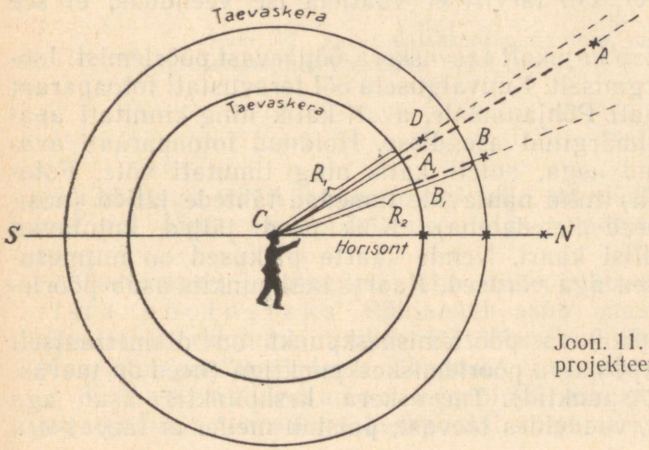
4. Taevaskera ja tema praktiline tähtsus. 1. T a e v a s k e r a. Vaatamata sellele, et taevakehade tõelised kaugused meist on väga erinevad, paistavad nad kõik asuvat meist ühesugusel kaugusel. Taevakehade kauguste erinevusi ei ole võimalik silmaga eraldada. Seepärast on otstarbekohane tingimisi vaadelda tähti, nagu asetseksid nad meelevaldselt valitud raadiusega kera sisepinnal. Selle kera keskpunktis on vaatleja silm. *Taevaskeraks nimetatakse meelevaldse raadiusega ettekujutatavat kerapinda, millele me projekteerime taevakehade asukoha.* Taevaskera mõistet kasutatakse nurkade mõõtmistel lihtsamate nähtavate taevanähtuste vaatlemise kergendamiseks, mitmesugusteks arvestusteks, näiteks taevakehade tõusu ja loojangu aegade väljaarvutamiseks. Seega on taevaskera mõistel praktiline tähtsus.

[1] Matemaatiliselt õigem on rääkida liikumisest mööda ringjoont. Füüsikud ja astronoomid räägivad aga sagedamini «liikumine mööda ringi». Ka matemaatikas räägitakse kera pinnal asuvatest suurtest ja väikestest ringidest.

Arutledes tõusu, loojangu ja teiste taevanähtuste küsimuste üle, arvestame ainult suunda, milles taevakehad paistavad (horisondi lähedal, pea kohal jne.), seepärast on ükskõik, millise raadiusega me taevaskera võtame. Joonisel 11 on näidatud, et vaatleja poolt mingis suunas nähtav mistahes taevakeha on nähtav sellessamas suunas, ükskõik missuguse raadiusega taevaskeral me teda kujutleme asuvat, kas näiteks taevaskeral raadiusega R_1 või taevaskeral raadiusega R_2 jne. Seepärast räägitakse, et taevaskera raadius on meelevaldne.

2. Nurkkaugus. Lugedes tingimisi kõiki taevakehi taevaskeral asetsevaiks (õigemini, nad projekteeritakse sellele), võime mõõta ainult nurki suundade vahel, milles taevakehad meile paistavad. Nendele nurkadele vastavad taevaskeral suurringide kaared (kera suurringiks nimetatakse kõiki ringe, millede keskpunktid ühtivad kera keskpunktiga). Näiteks me räägime, et taevakehad *A* ja *B* (joon. 11) on taevaskeral teineteisest 23° kaugusel, kui nurk suundade *CA* ja *CB* vahel on 23°. Taevaskeral vastab sellele nurgale 23° suurune kaar A_1B_1. Täht *A* võib maailmaruumis tõeliselt olla meist tunduvalt kaugemal kui täht *D*, kuid kui nad mõlemad on meile nähtavad peaaegu ühes suunas, siis me räägime, et taevaskeral on täht *D* tähele *A* tunduvalt lähemal kui tähele *B*, vaatamata sellele, et joonkaugus maailmaruumis tähtede *D* ja *A* vahel võib olla tunduvalt suurem kui tähtede *D* ja *B* vahel.

Samal põhjusel on Päikese ja Kuu nähtavad nurkdiameetrid peaaegu võrdsed (umbes pool kraadi), vaatamata sellele, et Kuu tõeline diameeter on peaaegu 400 korda väiksem Päikese tõelisest diameetrist. See-eest on Kuu aga meile niisama palju kordi lähemal kui Päike, ning seepärast näivadki nende nurkdiameetrid pea-



Joon. 11. Taevakehade projekteerimine taevaskerale.

aegu võrdsetena. Naiivne on võrrelda Kuu näivat suurust kopika või taldriku suurusega, kui neid pole paigutatud mingisugusele kaugusele (vaatlejast). Samuti täiesti mõttetud on väljendid: «Kuu tõusis pool meetrit horisondist kõrgemale», «Ühest tähest teiseni on 2 m» jne.

Seega — *taevaskeral võib mõõta ainult nurki.*

Kui sirutada käsi välja ning põial ja esimene sõrm (nimetissõrm) laiali ajada, siis näeb inimene oma sõrmede otsi umbes 16° nurga all. Niisuguse «nurgamõõtjaga» võib, muidugi väga ligikaudselt, mõõta nurkkaugusi taevaskeral. Nurkkaugus Suure Vankri tähtede α ja β vahel on 5°.

5. Taevaskera põhipunktid ja jooned. 1. S e n i i t j a h o r i s o n t. Vaatleja silmast lähtuv püstjoon lõikab taevaskera punktis, mida nimetatakse s e n i i d i k s. Seniit on vaatleja pea kohal olev kõrgeim punkt.

Püstjoonega risti asetsevat tasapinda nimetatakse h o r i s o n t a a l t a s a p i n n a k s.

M a t e m a a t i l i s e k s h o r i s o n d i k s nimetatakse taevaskera ja taevaskera keskpunkti läbiva horisontaaltasapinna lõikejoont. Horisondi tasapinda saab määrata vesiloodi abil. Nähtava horisondi moodustab joon, mida mööda taevaskera näib ühtivat maapinnaga.

2. M a a i l m a p o o l u s e d j a t e l g. Öist taevast erinevatel kellaaegadel vaadeldes paneme tähele, et ööpäeva jooksul kirjeldavad tähed taevaskeral seda suuremad ringid, mida kaugemal nad asuvad Põhjanaelast.

Põhjanael teeb ööpäevaga väga väikese ringi ning on alati peaaegu ühesugusel kõrgusel horisondist. Põhjanael asub põhjataevas. Joonisel 5 on näidatud Suure Vankri asendi muutumist horisondi suhtes ööpäeva jooksul, samuti aga Põhjanaela liikumatust (ligikaudselt). On tarvis, et vaatleja ise veenduks, et see tõesti on nii.

Joonis 12 näitab kujukalt taevaskera ööpäevast pöörlemist. Joonis on saadud järgmiselt. Kuuvalguseta ööl teravustati fotoaparaat lõpmatusse, suunati Põhjanaelale, avati katik ning kinnitati aparaat kindlalt ülalmärgitud asendisse. Hoidnud fotoaparaati avatud katikuga tund aega, suleti katik ning ilmutati võte. Fotoplaadil (negatiivil) tulid nähtavale tumedad tähtede jäljed (positiivil saadakse need heledatena). Kõik need jäljed kujutavad endast kontsentrilisi kaari. Nende kaarte pikkused on mitmesugused, nurkkiirused aga võrdsed. Kaarte keskpunktis asub pöörlemiskeskpunkt.

Taeva lõunapoolkera pöörlemiskeskpunkt on diametraalselt vastupidine põhjapoolkera pöörlemiskeskpunktiga (need on taevaskera diameetri otspunktid). Taevaskera keskpunktis asub aga meie silm. Seega, vaadeldes taevast, paistab meile, et taevaskera



Joon. 12. Taeva polaarpiirkonna foto, mis on tehtud liikumatu aparaadiga ühe tunni vältel (positiiv).

pöörleb nagu tervik ümber mingi telje, mis läbib meie silma. Taevaskera ööpäevase pöörlemise telge nimetatakse maailma teljeks.

Taevaskera ja maailma telje lõikepunkte nimetatakse maailma poolusteks. Põhjanael asub maailma põhjapooluse lähedal (nurkkaugus umbes 1°). Maailma lõunapoolus paikneb Maa lõunapoolkeral; tema läheduses ei ole ühtegi heledat tähte.

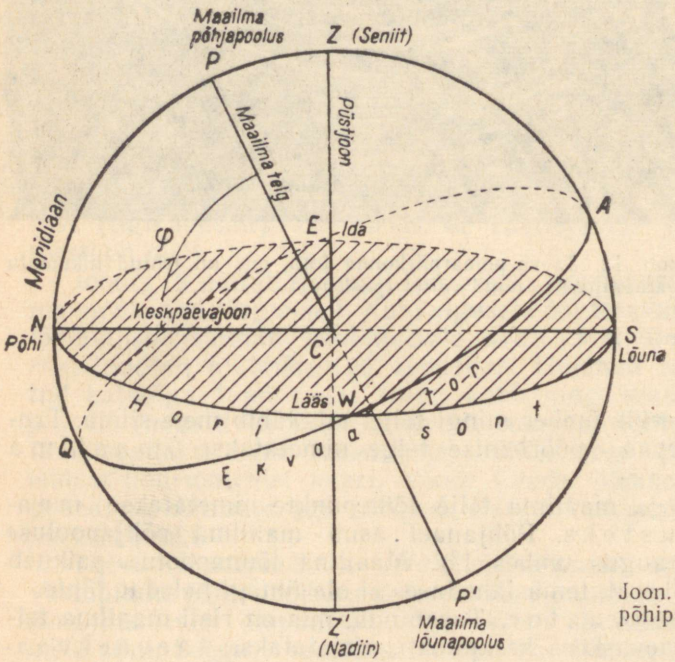
3. Taevaekvaator. Tasapinda, mis on risti maailma teljega ja läbib taevaskera keskpunkti, nimetatakse taevaekvaa-

tori tasapinnaks. Taevaekvaatori tasapinna ja taevaskera lõikejoont nimetatakse taevaekvaatoriks.

Taevaekvaator jagab taevaskera kaheks osaks, põhja- ja lõunapoolkeraks. Me näeme, et maailma telg, maailma poolused ja taevaekvaator on analoogilised Maa teljega, poolustega ja ekvaatoriga. See on arusaadav, sest eespool toodud nimetused on seotud taevaskera näiva pöörlemisega, see on aga maakera tõelise pöörlemise tagajärg.

4. Taevameridiaan ja keskpäevajoon. Taevameridiaani tasapinnaks nimetatakse tasapinda, mis läbib seniiti, taevaskera keskpunkti ja maailma poolust. Lõikumisel taevaskeraga annab see tasapind taevameridiaani. Vertikaaltasapind, mis läbib vaatleja silma ja Põhjanaela, on ligikaudseks taevameridiaani tasapinnaks. Maa mistahes kohas langeb taevameridiaani tasapind ühte sama maakoha geograafilise meridiaani tasapinnaga.

Keskpäevajooneks nimetatakse meridiaani tasapinna ja horisondi tasapinna lõikejoont. Seda joont nimetatakse keskpäevajooneks seepärast, et keskpäeval langevad esemete varjud selle joone sihis. Praktiliselt võib keskpäevajoont saada maapinnal või horisontaalsel pinnal, kui märkida keskpäeval vertikaalse varda varju suund.



Joon. 13. Taevaskera põhipunktid ja -jooned.

5. Horisondi punktid. Horisont lõikub taevameridiaaniga põhja- (N) ja lõunapunktis (S), taevaekvaatoriga aga lääne- (W) ja idapunktis (E). Kui me seisame näoga maailma pooluse poole (Põhjanaela poole), siis otse meie ees horisondil asub põhjapunkt, selja taga aga lõunapunkt, paremal idapunkt, vasakul läänepunkt. Seda teades saab alati orienteeruda maastikul.

Selleks et eespool öeldut paremini ette kujutada, valmistame taevaskera joonise (joon. 13). Sellel joonisel on C taevaskera keskpunkt, kus asub vaatleja silm, ZCZ' — vertikaaljoon, kusjuures Z — seniit, Z' — nadiir (taevaskeral seniidi vastaspunkt), PP' — maailma telg, P — maailma põhjapoolus, P' — maailma lõunapoolus, $EAWQ$ — taevaekvaator, mille tasapind on risti maailma teljega, $ESWN$ — horisont, S — lõunapunkt, N — põhjapunkt, E — idapunkt, W — läänepunkt. On kerge mõista, et horisondi kohal on näha pool taevaskerast ja pool taevaekvaatorist, samuti ka seda, et punktides E ja W (mis on vastavalt punktidest N ja S 90° kaugusel) jagavad lõikuvad horisont ja ekvaator teineteise pooleks.

Joon NS on keskpäevajoon, suurring $NPZASP'Z'Q$ aga taevameridiaan.

Tuleb osata joonistada taevaskera. Nurka PCN maailma telje ja horisondi tasapinna vahel võib joonestuspraktikas võtta kuidas tahes. Nagu me hiljem näeme, oleneb see nurk vaatleja asukohast maakera pinnal.

Ülaltoodud mõisted ja definitsioonid on vajalikud astronoomia praktiliseks rakendamiseks.

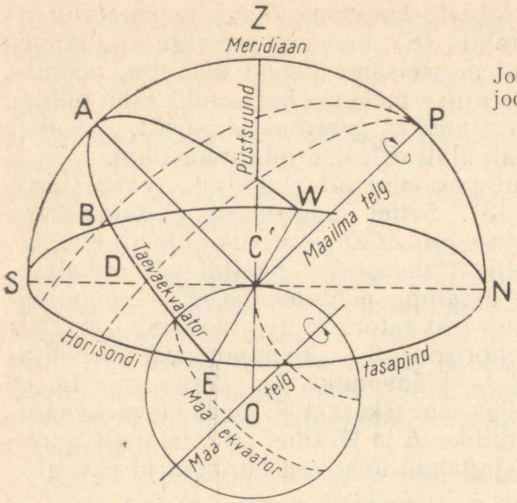
6. Maa ja taevaskera jooned. Vaatlejale, kes asub Maa mingis punktis C (joon. 14), paistab, et kogu tähistaevas taevaskera näol pöörleb ümber telje, mis läbib vaatlejat ennast ning on paralleelne Maa teljega. Taevaskera pöörlemistelge CP me nimetasime maailma teljeks, nüüd näeme, et see telg on iga vaatleja seisukohalt paralleelne Maa pöörlemisteljega. Nendele vaatlejatele, kes asuvad Maa poolustel, ühtivad Maa telg ja maailma telg teineteisega.

Maailma telg ja temaga paralleelne Maa telg on mõlemad suunatud Põhjanaelale seepärast, et Põhjanael on meist väga kaugel.

Taevaekvaatori tasapind $CEAW$, mis on risti maailma teljega, on paralleelne Maa ekvaatori tasapinnaga. Maa ekvaatoril asetsevale vaatlejale need tasapinnad ühtivad.

Kui lugeda Maad kerakujuliseks, siis osutub vertikaaljoon CZ Maa keskpunktist vaatleja asukohta C tõmmatud raadiuse OC pikenduseks. Seepärast horisondi tasapind, läbides taevaskera keskpunkti (punkti C), osutub maakera puutujatasapinnaks punktis C. Taevameridiaani ja geograafilise meridiaani tasapinnad ühtivad.

Koos Maa pöörlemisega pöörleb ka vaatleja, temaga koos aga ka taevaskera. Seepärast läheb horisont, mis eraldab nähtava



Joon. 14. Seos Maa ja taevaskera joonte ning tasapindade vahel.

ruumiosa nähtamatust, ööpäeva erinevatel aegadel läbi tähistaeva erinevate osade. Erinevate taevakehade poole on suunatud ka seniit *Z*. Taevaekvaator libiseb omaenda tasapinnas, maailma telg jääb aga iseendaga paralleelseks. Tähed, säilitades oma muutumatu asendi ekvaatori ja üksteise suhtes, liiguvad taevaekvaatoriga paralleelsetel tasapindadel.

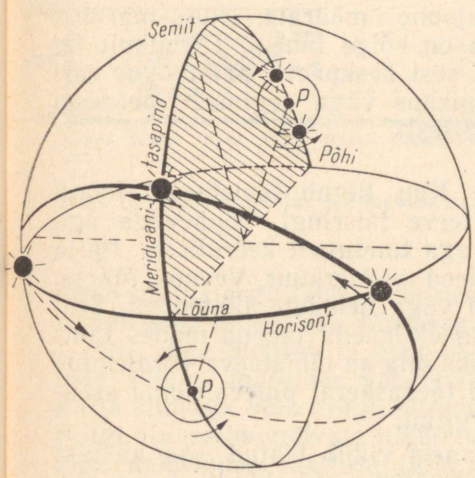
6. Taevakehade kulminatsioon. Kindlaks määranud taevameridiaani asendi, jälgime tähistaeva pöörlemist. Me paneme tähele, et oma ööpäevasel pöörlemisel ümber maailma telje iga taevakeha läbib kaks korda meridiaani. Seejuures saavutab taevakeha ühel korral oma kõige kõrgema asendi (horisondi peal) — see on ülemine kulminatsioon, teine kord aga kõige madalama asendi (horisondi all) — see on alumine kulminatsioon. *Läbiminekut meridiaanist nimetatakse kulminatsiooniks.* Mitteloojuvatel taevakehadel on mõlemad kulminatsioonid nähtavad, loojuvatel aga ainult üks. Mittetõusvate tähtede mõlemad kulminatsioonid toimuvad horisondi all ja pole seega nähtavad (joon. 15). Tähtede kulminatsioonid olenevad tähtede asukohast taevaskeral ja samuti aastaaegadest. Ülemise ja alumise kulminatsiooni vaheline aeg on pool ööpäeva.

Vaadeldes mingit tähte igal õhtul, paneme tähele, et antud maakohas kulmineerib iga täht alati ühel ja samal kõrgusel horisondist. Kõrgus horisondist sõltub tähe asukohast taevaskeral ja maakoha geograafilisest laiusest.

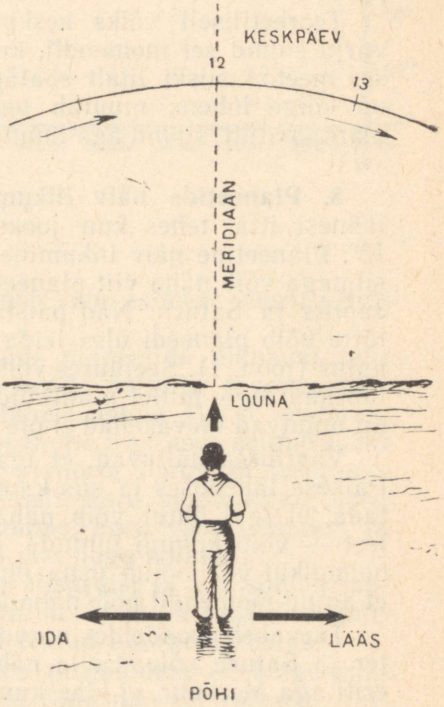
Päikese kõrgus horisondist tema ülemise kulminatsiooni momendil pole aga erinev mitte ainult erinevates maakohtades (näit. Leningradis ja Odessas), vaid ka erinevatel aastaaegadel

(talvel on ta madalamal, suvel kõrgemal). Kuu ja planeetide kõrguse muutumine on aga keerukam.

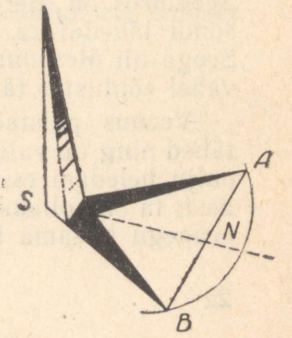
7. Ligikaudne orienteerumine maapinnal taevakehade järgi. Orienteerumine maapinnal seisneb põhja-, lõuna-, läänesuuna jne. kindlaksmääramises. Me juba veendusime, et keskpäevajoon määrab ära põhja-lõuna suuna ning et Põhjanael asub alati horisondil oleva põhjapunkti kohal (horisondist kõrgemal). Seepärast, leidnud Põhjanaela, võime alati orienteeruda horisondi põhipunktide suhtes. Keskpäeval näitab lõunapunkti asukoha meile Päike,



Joon. 15. Taevakehade ülemine ja alumine kulminatsioon.



Joon. 16. Päikese ülemine kulminatsioon ja selle järgi orienteerumine.



Joon. 17. Keskpäevajoone asendi määramine.

sest Päikese kulminatsioon toimub täpselt lõunapunkti kohal (joon. 16).

Kinnitame tasasele pinnale vertikaalselt (püstloodi abil) varda (joon. 17). Kaks-kolm tundi enne keskpäeva märgime sellele pinnale varju otsa *A* asukoha ning tõmbame varda algpunktist *S* kaare raadiusega *SA* (*SA* on võrdne varju pikkusega). Vari pidevalt lüheneb ja pöördub põhja poole. Märgime oma ringil punkti *B*, kus pärast keskpäeva küünib vari uuesti ringjooneni. Punktid *A* ja *B* ühendame sirglõiguga, selle keskpunkti *N* ühendame varda alguspunktiga *S*, viimane joon annabki keskpäevajoone asendi.

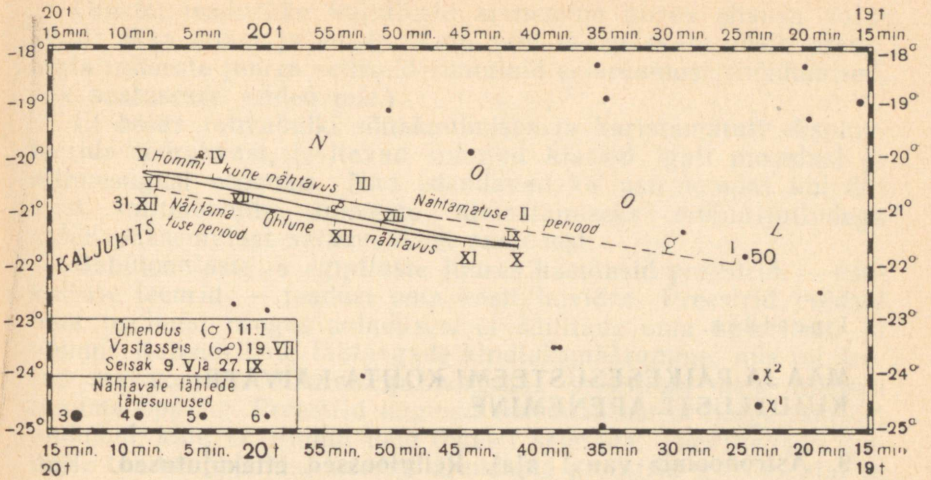
Teoreetiliselt võiks keskpäevajoone määrata, kui märkida varju suund sel momendil, kui ta on kõige lühem. Tegelikult on see meetod siiski liialt ebatäpne, sest keskpäeva paiku, kui vari on kõige lühem, muutub tema pikkus väga aeglaselt, peaaegu märkamatult, suund aga muutub kiiresti.

8. **Planeetide näiv liikumine.** Kuu liigub tähistaeva foonil läänest itta, tehes kuu jooksul terve täisringi, ööpäevaga aga 13°. Planeetide näiv liikumine on aga tunduvalt keerulisem. Palja silmaga võib näha viit planeeti. Need on Merkuur, Veenus, Marss, Jupiter ja Saturn. Nad paistavad väga heledate tähtedena. Seetõttu võib planeedi üles leida «liigse» heleda tähena mõnes tähtkujus (joon. 1). Seejuures võib abiks olla ka tähistaeva võrdlemine tähekaardiga, millel planeedid kui taevaskeral pidevalt oma asendit muutvad taevakehad ei ole märgitud.

Vaatlused näitavad, et iga planeet viibib teatud osa aastast Päikese läheduses ja siis kaob selle kiirtes. Järelikult ei saa oletada, et igal õhtul võib näha kõiki planeete korraga. Vähe sellest — võib koguni juhtuda, et mõni planeet tõuseb ainult vastu hommikut või loojub üsna õhtu alguses. Seepärast võib juhtuda, et antud momendil pole näha ühtegi planeeti.

Taevakehi vaadeldes veendusid inimesed selles, et Marss, Jupiter ja Saturn võivad olla nähtavad öösel igal kellaajal, Veenus, eriti aga Merkuur, ei lähe kunagi Päikesest kaugele kõrvale. Merkuuri ja Veenust võib näha ainult õhtul läänes varsti pärast päikeseloojangut või hommikul idas pisut aega enne päikesetõusu. Seejuures on Merkuur vaevalt nähtav koidu või eha kiirtes horisondi lähedal ka oma suurima näiva kauguse puhul Päikesest. Seega nii Merkuur kui ka Veenus paistavad vahel «hommikuste», vahel «õhtuste» tähtedena ja ei ole kunagi nähtavad kesköö.

Veenus paistab märksa heledamalt kui teised planeedid ja tähed ning on valge värvusega. Jupiter on Veenusest nõrgem, kuid palju heledam esimese suurusjärgu tähtedest ja teistest planeetidest; ta on kollaka värvusega. Marss on punakas-oranž ning vahel peaaegu niisama hele kui Jupiter, kuid tavaliselt paistab ta esi-



Joon. 18. Saturni nähtav tee taevaskeral 1961. a.

mese suurusjärgu tähena. Saturn erineb vähe esimese suurusjärgu tähtedest ja on kollaka värvusega.

On väga huvitav ja kasulik jälgida planeetide liikumist tähtede suhtes, märkides vahete-vahel nende asendid tähekaardile. Palja silmaga võib kõige kiiremini tähele panna Marsi liikumist. Kõigi planeetide näivate liikumiste peamine iseärasus selgub siiski alles mõnekuise vaatluse järel. Iga planeedi liikumise iseärasus seisab selles, et ta liigub kord kiiremalt, kord aeglasemalt, kord taevaskera ööpäevase pöörlemise suunas, kord vastassuunas, ja kord aastas kujutab tähistaeva foonil just nagu silmuse.

Joonisel 18 on kujutatud osa taevakaardist ja see silmusetaoline tee, millel 1961. a. liikus Saturn. Joonisel on näidatud, millistes kohtades oma teel asus Saturn teatud päevadel aastas.

Liikumise kiirus ja silmuse suurus (kraadides) on kõige suurem Marsil; Jupiteril on ta väiksem ja Saturnil veel väiksem. Teinud silmuse, jätkab iga planeet liikumist tähistaeva foonil vastassuunas selle ööpäevasele pöörlemisele.

Merkuur ja Veenus liiguvad samuti silmusekujuliselt (nende vaatlemist segab koidu hele foon).

I peatükk.

MAA JA PÄIKESESÜSTEEMI KOHTA KÄIVATE KUJUTLUSTE ARENEMINE.

9. Astronoomia vanal ajal. Religioossed ettekujutused. Kui inimene veel ei tundnud loodusseadusi, siis tajus ta igal sammul oma abitust ja sõltuvust ümbritsevast maailmast. Ta kummardas pimesi loodusjõude ja taevakehi. Jumalaiks peeti välku, müristamist, tuult, Päikest ja Kuud. Kõik see tekitas usku üleloomulikesse jõududesse ja nende kummardamist.

Päikesemüüdid peegeldusid usundeis, nende hulgas ka ristiusus. Näiteks «Kristuse sündimise» püha, mis on viidud talvise pööripäeva ajale, osutub üheks vanimaks igandiks — päikesejumala sündimise pühaks. Lihavõttepühad («Kristuse ülestõusmine») tähistavad looduse taassündi pärast talveperioodi (kevadise pööripäeva ajal).

Kuu kummardamine on säilitanud oma jäljed muhamedi usus, milles kuusirp («poolkuu») on usuliseks sümboliks.

Usuliste väärarvamuste, taevakehade austamise ja ühiskondlike nähtuste põhjustest mittearusaamise põhjal kujunesid fantastilised kujutlused sellest, et taevakehad mõjutavad maiseid sündmusi. Valeõpetust sellest mõjust ja võimalusest ennustada sündmusi taevakehade asetuse põhjal nimetati *astroloogiaks*. Inimesi, kes tegelesid selliste ennustamistega, nimetati astroloogideks.

Soodsa pinna astroloogia arenemiseks lõi planeetide keeruliste silmusetaoliste liikumiste põhjuste mittemõistmine. Usk taevaelanikesse, kes nagu valitseksid kogu maailma, põhjustas nende taevakehade jumaldamise. Seepärast nimetati jumalate nimedega ka neid, kelle käskjalgadeks planeedid arvati olevat. Inimesed uskusid astrolooge, sest nad ei teadnud, et kõik loodusnähtused ja ühiskondlikud sündmused on tingitud täiesti seaduspäraseist loomulikest põhjustest ega olene mõnesuguste vaimude või jumalate tahtest. Selle alusel tekkis ka usk «õnnelikkudesse tähtedesse» ja «õnnetust toovatesse planeetidesse».

Õigete, teaduslike kujutluste arenemine piiras ebausu valdkonda ikka enam ja enam. Kuid veel tänapäevani püsib arenemata inimeste juures selliseid rumalaid eelarvamusi (nõidumised, usk saatusesse, ended jms.).

Et hoida rahvahulki sõnakuulmises ja karistamatult ekspluateerida töörahvast, levitavad rõhujad klassid igati pimedust ja mitmesugust ebausku. Nad edendavad ka astroloogiat kui üht viisi mitteteadlike inimeste uimastamiseks muinasjuttudega möödapääsematust saladuslikust saatusest.

Babüloonlaste ja egiptlaste juures kasutasid preestrid — usukultuse teenrid — teadust oma kasti huvides. Preestrid hoidsid oma teadmisi ranges saladuses, et säilitada oma autoriteeti ja võimu. Kalendriliste tähtaegade kindlaksmääramine, mis oli seotud taevakehade liikumisega, virgutas preestreid neid nähtusi tundma õppima. Preestrid kogusid taevanähtustest hulga faktilisi andmeid, kuid ei osanud neid õigesti seletada. Taevakehade loomuse tundmaõppimise asemel arendasid preestrid astroloogiat ja hoidsid sellega ebausu-hirmus mitte üksi rahvast, vaid ka tema valitsejaid.

Vana-babüloonia legendi järgi, mille juudid oma orjastajailt babüloonlastelt üle võtsid ja mis sattus «pühasse» piiblisse, kujutab taevas endast kindlat kuplit («taevalaotus»), mis toetub tasapinnalise Maa äärtele. Taevas on maailma loonud «taevaelanike» eluase. Selliste vaadete alusel arenes kujutlus sügavast erinevusest maapealse ja taevase, «siinse» ja «sealpoolse», loomuliku ja üleloomuliku, materiaalse ja vaimse, tunnetatava ja tunnetamatuks peetava vahel.

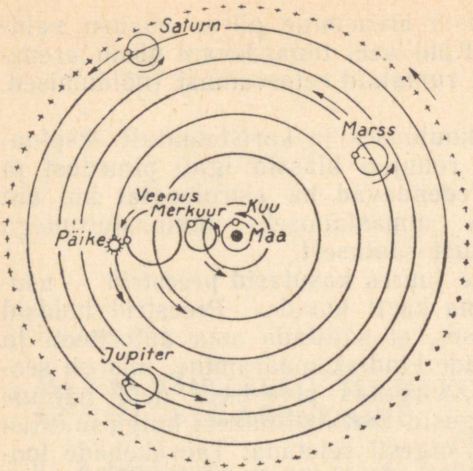
Astronoomilised teadmised rändrahvaste juures tekkisid vajadusest määrata taevakehade järgi aega ning leida õiget suunda stepis või kõrbes. Nad teadsid ajavahemikku Kuu kahe ühesuguse faasi vahel.

Inimese üleminekuga põlluharimisele kasvas vajadus astronoomia järele. Põlluharijale oli vaja kalendrit, et reguleerida põllutöid vastavalt aastaaegadele.

Rändavad tähed, planeedid ja nende nähtavad silmuselised teed olid tuntud juba vanadele egiptlastele ja babüloonlastele.

Pärast seda, kui poliitilise ja kultuurielu keskpunkt nihkus Babülooniast ja Egiptusest Vana-Kreekasse, said kogutud astronoomilised teadmised kreeka mõtteteadlaste omaks. Astronoomia arenes nende juures edasi, sest kreeklased kui julged meresõitjad vajasid eriti seda teadust ja rakendasid selles edukalt oma matemaatilisi teadmisi.

10. Geotsentrilise maailmasüsteemi mõiste. Üldistuse kõigist vana-kreeka teaduse saavutustest andis IV sajandil e. m. a. üks suurimaid vanaaja õpetlasi — Aristoteles (384—322 e. m. a.).



Joon. 19. Maailmasüsteem Ptolemaiose järgi.

Aristotelese järgi olid planeedid, Päike ja Kuu kinnitatud läbipaistvale kõvale taevasele sfäärile — iga taevakeha oma sfäärile. Kõige kaugemale sfäärile olid paigutatud kõik tähed. Kõik need sfäärid on kontsentriliselt asetatud üksteise sisse ja nende keskel asub liikumatu maakera. Taevased sfäärid pöörlevad ümber Maa erineva kiirusega, üksteist osaliselt kaasa tõmmates, millest Aristotelese ütluse järgi tulevadki kõik näivad taevakehade liikumised.

Maailmasüsteemi Maaga keskpunktis nimetatakse geotsentriliseks süsteemiks (*gē* — «maa» kreeka keeles).

Vana-Kreeka astronoomia ülimaks saavutuseks osutus maailmasüsteem, mille esitas II sajandil m. a. j. Aleksandria õpetlane Claudios Ptolemaios. Tema lähtus samuti geotsentrilistest kujutlustest. Silmusetaoliste liikumiste seletamiseks eeldas Ptolemaios, et iga planeet liigub ühtlaselt mööda väikest ringi (mida nimetatakse epitsükliks), kuna selle ringi keskpunkt omakorda liigub mööda suurt ringjoont (deferenti) ümber Maa. Nende kahe eri tasapindades toimuva liikumise liitumine tekitabki Maalt vaadates planeetide silmusetaolise liikumise — vahel päri-, vahel vastupidises suunas (joon. 19). Ptolemaiose kujutlus planeetide liikumisest oli väär, kuid võimaldas ette välja arvutada planeetide asukohad taevaskeral, tuues seega praktilist kasu.

Pärast Kreeka riigi ja selle kultuuri langust algas Lääne-Euroopa riikide arenemine. Kuid seal valitses keskajal väga primitiivne majapidamisviis, mis oli vähe huvitatud teadusest. Meresõit oli vähe arenenud. Kristlik kirik keelas ära teaduste uurimise kui patuse tegevuse.

Tol ajal esinesid veel naiivsemad ja algelisemad kujutlused maailmast kui egiptlastel ja kreeklastel. Ei tunnistatud isegi Maa

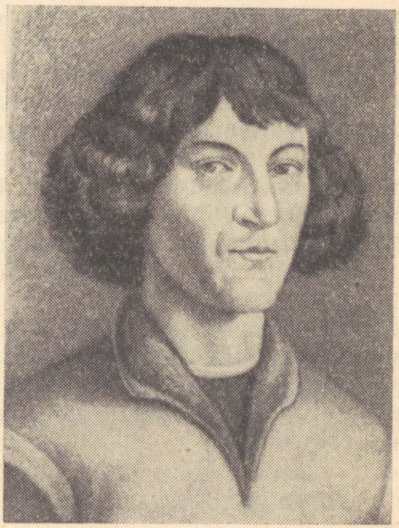
kerasust. Kooskõlas usuliste vaadetega kujutleti Maad tasase ringina või koguni nelinurgana, tähti aga peeti kuldnaelteks, mis olid löödud taevavõlvi, või inglite poolt süüdatavaiks lampideks.

Suurte geograafiliste avastuste ajastul, mil eurooplased võtsid julguse sõita uute rikkuste haaramiseks mööda meresid ja koguni mööda ookeane, tuli tahes-tahtmata pöörduda astronoomia poole. Hakati tundma õppima vana-kreeka teadlaste töid, mille keskaja araablased päästsid paratamatust hävimisest, sest kristlik kirik kiusas fanaatiliselt taga kõike usuvastast. Araablastelt, kes arendasid edasi meresõitu ning seepärast hindasid ka astronoomiat, on astronoomiasse jäänud palju nimesid ja termineid.

Kaugetest kaubanduslike eesmärkidega merereisidest huvitatud vaimulikkond otsustas lubada uurida Ptolemaiose teooriat mõnede kitsenduste ja täiendustega, mis olid kooskõlas religioosse õpetuse vaimuga.

11. Koperniku revolutsiooniline avastus. Meresõidu arenemine nõudis astronoomilistelt arvutustelt järjest suuremat täpsust. Ptolemaiose teooria seda ei andnud. Seda teooriat tuli tema kooskõlastamiseks suurema täpsusega toimetatud vaatlustega muuta tublisti keerulisemaks. Ptolemaiose teooria muutus arvutusteks ebamugavaks ja raskepäraseks, ühtlasi hakkas näima ka vähe tõenäolisena.

Teha kindlaks, et Maa on planeet ning sellega koos avada inimeste silmad tema tõelise koha ja liikumise kohta looduses suutis geniaalne poola teadlane Nikolai Kopernik (1473—1543).



Nikolai Kopernik (1473—1543).

Kopernik tuli veendumusele, et Maa liigub, ning järeldusele, et taevakehade näivaid liikumisi võib lihtsamalt ja paremini ära seletada, kui lähtuda Maa liikumisest.

Asudes sellele vaatekohale, seletas Kopernik taevakehade tõusu ja loojangut Maa ööpäevase pöörlemisega, Päikese näivat liikumist mööda ekliptikat aga Maa aastase tiirlemisega ümber Päikese. Koperniku järgi liiguvad ka kõik teised planeedid ümber Päikese, mitte aga ümber Maa.

Niiviisi muutus Maa Koperniku teooria järgi üheks planeetidest, asudes kauguselt Päikesest kolmandal kohal. Planeetide asetuse järjekord Päikese suhtes on järgmine: Merkuur, Veenus, Maa, Marss, Jupiter ja Saturn. *Koperniku süsteemi Päikesega tsentris nimetatakse heliotsentriliseks süsteemiks* (*helios* — «päike» kreeka keeles).

Kopernik pani oma õpetusega aluse astronoomia arenemisele täiesti uutel alustel ja sundis inimkonda asuma looduse uurimisele, hoolimata kiriku vananenud õpetusest, mis põhineb vanaaja harimatusel. Enne Kopernikut kiriklikud õpetused või õpetused, mida kirik toetas (näiteks Ptolemaiose õpetus, mis ei olnud vastuolus piibliga), pidurdasid mitte ainult astronoomia, vaid ka teiste teaduste arenemist. Koperniku avastus kutsus esile revolutsiooni inimeste maailmavaates, nende arusaamises loodusest ja selle tunnetamise viisides. Seepärast hakkasid sellest ajast peale ka teised teadused arenema kiiremini ja õigemini.

Fr. Engels kõneleb sellest nõnda: «Selleks, mis paavsti bulla põletamine Lutheri poolt oli religiooni alal, oli loodusteaduses Koperniku suur töö, milles ta — kuigi arglikult pärast 36-aastast kõhklemist ja nii-öelda surivoodilt — heitis vaenukinda kiriklikule ebausule. Sellest ajast alates on looduseuurimine olulises osas religioonist vaba, kuigi kõikide üksikasjade lõplik selgitamine on veninud praeguse ajani... Kuid sellest ajast peale hakkas ka teadus arenema hiiglasammudega...»[1]

Kõrvuti eesrindliku teaduse arenemisega Nõukogude Liidus luuakse välismaal jõukate klasside huvides mitmesuguseid reaktsioonilisi teooriaid. Nii näiteks esineb seal katseid ümber lükata Koperniku avastus ning kinnitada, et on ükskõik, kas liigub Maa ümber Päikese või Päike ümber Maa. Sellega püütakse maskeeritud kujul tagasi pöörduda keskaja ebateaduslike kujutluste juurde, taastada religiooni autoriteet vaadetes looduse kohta.

Loodusteaduste saavutused kummutavad samm-sammult usulisi väljamõeldisi. Teaduse ja tehnika saavutustega varustatud inimene allutab endale looduse ja muudab seda vastavalt oma vajadustele. Kuid võitlus usulise ideoloogia vastu on tarvilik ka praegu, sest kõduneva kapitalismi maailmavaade toetab igati sellist ebausku.

---

[1] F. Engels, Looduse dialektika, Tln., 1962, lk. 144.



Galileo Galilei (1564—1642).

12. Galilei avastused. Kiriku võitlus teaduse vastu. Itaalia õpetlane Galilei (1564—1642), saanud teada, et Hollandis on leiutatud pikksilm ehk teleskoop, ehitas 1609. a. ise sellise teleskoobi ja kasutas seda taevakehade vaatlemiseks. Galilei tegi teleskoobi abil hulga tähelepanuväärseid avastusi. Tema poolt õigesti tõlgendatud, osutusid need Koperniku teooria tõepärasuse hiilgavaks kinnituseks.

Kõigepealt avastas Galilei mägede olemasolu Kuul. See tõestas, et taevakehad on maaga sarnased ja et kujutlused maise ja taevase sügavast erinevusest on ekslikud.

Seejärel avastas Galilei, et planeet Jupiteri ümber tiirlevad neli kaaslast, samuti nagu Kuu tiirleb ümber Maa. See näitas ilmselt selliste kujutluste ekslikkust, et ainult Maa on taevakehade liikumise keskpunktiks. See soodustas samuti oletust, et planeedid tiirlevad ümber Päikese, mitte aga ümber Maa.

Edasi avastas Galilei Veenuse faasid, s. o. tegi kindlaks, et Veenus muudab oma välisilmet sarnaselt Kuuga. See tõestas, et Veenus on kera, mis hiilgab peegeldunud päikesevalguses ja tiirleb nimelt ümber Päikese, mitte aga ümber Maa.

Päikesel, mida usuliste kujutluste järgi loeti rüvetamatu taevase puhtuse sümboliks, nägi Galilei oma teleskoobi abil tumedaid laike. Nende näivast liikumisest Päikese kettal järeldas Galilei, et Päike pöörleb ümber oma telje. Kui aga oldi veendunud taevakeha pöörlemises ümber telje, oli kergem oletada, et ka Maa pöörleb ümber oma telje.

Viimaks avastas Galilei teleskoobi abil, et Linnutee — see helendav vööt tähistaeva võlvil — on suure hulga nõrkade täh-



Giordano Bruno (1548—1600).

tede kogu. See tõestas, et maailm on hoopis grandioossem, kui seda arvati varem. Pärast seda osutus raskeks oletada, et selline määratu suur maailm teeks ööpäeva jooksul ringi ümber Maa. Nende avastustega ja rea teiste teravmeelsete väidetega tõestas Galilei Koperniku avastuste õigsust.

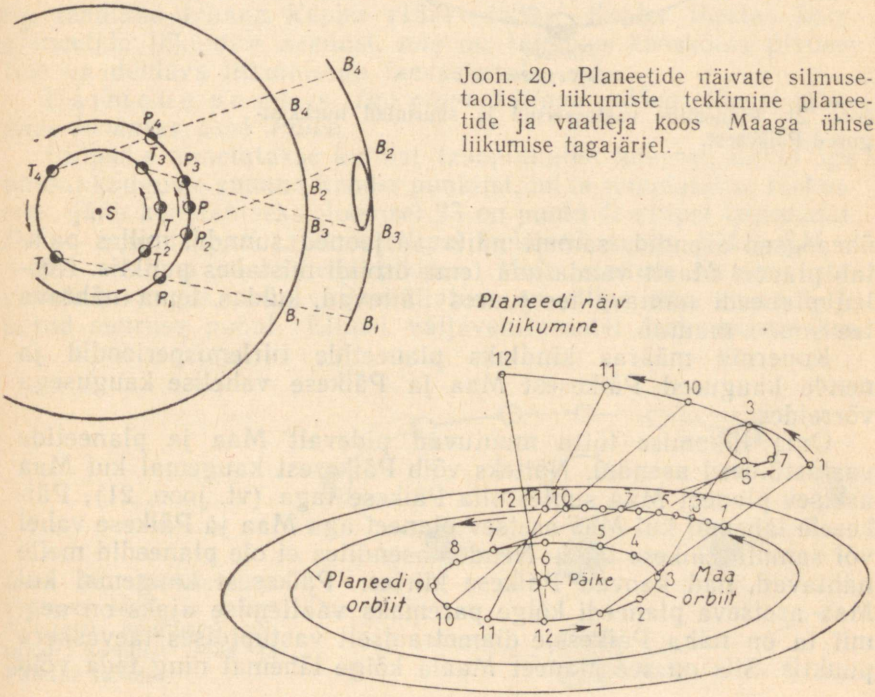
Koperniku ideede levikule, mis olid vastuolus «pühakirjaga», kus kõneldi Maa paigalolekust, aitas kaasa ka teine tuline koperniklane — Galilei kaasmaalane ja kaasaegne, kirjanik ning filosoof Giordano Bruno (1548—1600). Bruno läks koguni Kopernikust kaugemale. Bruno väitis, et tähed on kauged päikesed, et maailm on lõpmatu ja üksikmaailmu temas — tähti ja planeete — on tohutult palju ning et teistel planeetidel, teistes maailmades peab samuti olema elu nagu Maal, mis on üheks planeetidest. See oli veel enam vastuolus «pühakirjaga» ja õõnestas kiriku autoriteeti. Vihaseks muutunud kirikuesindajad andsid Bruno inkvisitsioonikohtu kätte, mis oli asutatud võitluseks teisitimõtlejate vastu. Brunolt nõuti oma veendumustest loobumist. Et Bruno sellega ei nõustunud, määrati talle piinarikas surmanuhtlus — ta põletati elusalt tuleriidal Roomas aastal 1600.

Järgmiseks kiriku ohvriks oli Galilei. 1616. a. kutsuti Galilei ühe paavsti kardinali juurde ja hoiatati, et on keelatud kaitsta ning levitada Koperniku õpetust, kuid teaduslikele tõdedele truu Galilei jätkas mehist võitlust Koperniku õpetuse eest. Inkvisitsioonikohus mõistis Galilei 1633. a. süüdi ja määras talle karistuseks eluaegse vangistuse, mis hiljem asendati keeluga oma kodust väljuda.

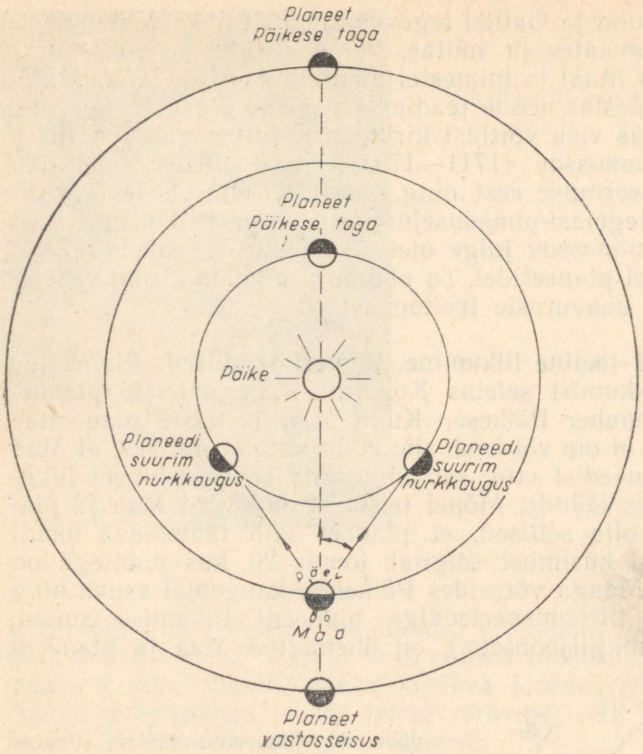
Koperniku, Bruno ja Galilei tegevus kutsus esile täieliku revolutsiooni maailmavaates ja näitas, kui ebateaduslik oli usuline väide, nagu oleks Maal ja inimestel maailmas eriline koht. Materialistlik teadus tõestas nende teadlaste vaadete õigsuse.

Venemaal pidas visa võitlust kirikliku kujutlusega Maa liikumatusest M. Lomonossov (1711—1765). Ta hoolitses Koperniku õpetuse populariseerimise eest ning naeris teravmeelsetes värssides välja kirikutegelasi-pimedusejüngreid. Koperniku õpetusest lähtudes tegi Lomonossov julge oletuse mõistusega olendite olemasolust ka teistel planeetidel. Ta püüdis ära hoida kiriku vahelesegamist teaduse saavutuste levitamisel.

13. Planeetide tõeline liikumine. Kepleri seadused. Planeetide silmusekujulist liikumist seletas Kopernik Maa ja teiste planeetide liikumisega ümber Päikese. Kuna Maa ja teiste planeetide tiirlemisperioodid ei ole võrdsed, siis võib juhtuda näiteks, et Maa jõuab mõnest planeedist ette; sel juhul näib selline planeet liikuvat tähtede suhtes läände. Mõnel teisel ajal võivad Maa ja planeedi liikumised olla sellised, et planeet näib tähistaeva foonil liikuvat itta. Seda küsimust selgitab joonis 20, kus nooltega on näidatud Maa ja Maaga võrreldes Päikesest kaugemal asuva ning Maast suurema tiirlemisperioodiga planeedi liikumise suund. Sirgjoontega (punktiirjoontega) on ühendatud Maa ja planeedi



Joon. 20. Planeetide näivate silmusetaoliste liikumiste tekkimine planeetide ja vaatleja koos Maaga ühise liikumise tagajärjel.



Joon. 21. Planeetide vastasseisud ja suurimad nurkkaugused Päikesest.

üheaegsed asendid, samuti näitavad jooned suunda, milles paistab planeet Maalt vaadatuna tema orbiidi mistahes punktis. Nooled planeedi nähtava tee juures näitavad, kuidas tema nähtava tee suund muutub.

Kopernik määras kindlaks planeetide tiirlemisperioodid ja nende kaugused Päikesest Maa ja Päikese vahelise kaugusega võrreldes.

Oma liikumise tõttu muutuvad pidevalt Maa ja planeetide vastastikused asendid. Näiteks võib Päikesest kaugemal kui Maa asetsev planeet Maa suhtes olla Päikese taga (vt. joon. 21), Päikesele lähemal kui Maa asetsev planeet aga Maa ja Päikese vahel või samuti Päikese taga. Nendes asendites ei ole planeedid meile nähtavad, nad kaovad Päikese kiirtes. Päikesest kaugemal kui Maa asetseva planeedi kõige paremaks vaatlemise ajaks on aeg, mil ta on näha Päikesele diametraalselt vastupidises taevaskera punktis. Siis on see planeet Maale kõige lähemal ning teda võib

teleskoobiga kõige paremini vaadelda. Sel korral planeet kulmineerib kesköö ning on pikka aega näha kogu öö. Maa suhtes Päikesega diametraalselt vastupidises asendis oleva planeedi asendit nimetatakse v a s t a s s e i s u k s.

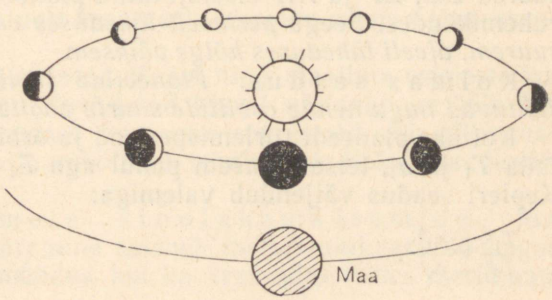
Päikesele lähemal kui Maa asuvate planeetide nurkkaugus Päikesest muutub, kuid ei ületa Merkuuri juures 29° ja Veenuse juures 48°. Kõige parem on neid planeete vaadelda nende suurima nurkkauguse puhul Päikesest. Nad tõusevad sellise asendi juures kas hommikul kõige varem enne Päikest (oma teiste tõusuaegadega võrreldes) või loojuvad pärast Päikest kõige hiljem, vastavalt sellele, kummal pool Päikest nad parajasti on nähtavad. Nagu selgub jooniselt 22, muutub Merkuuri ja Veenuse vaade samuti nagu Kuu faasid. See muutumine oleneb sellest, kuidas on meie poole pööratud nende planeetide Päikese poolt valgustatud külg.

Kopernik tegi kindlaks, et Maa ja planeetide liikumise tsentriks on Päike. Kuid planeetide orbiitide tõelist kuju ta täpselt kindlaks määrata ei võinud. Nii nagu kõik vanaaja teadlased ja filosoofid, oli ka Kopernik veendunud, et taevas peavad kõik liikumised toimuma ühtlaselt ja mööda ringjooni. Seepärast ei vastanud Koperniku teooria planeetide liikumise täpsetele vaatlustele sugugi paremini kui Ptolemaiose teooria.

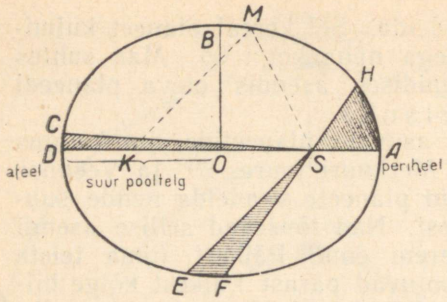
Selle ebatäpsuse põhjuse selgitas XVII sajandi alguses austria teadlane Johann Kepler (1571—1630). Kepler tõestas kolm planeetide liikumise seadust, mis on täielikus kooskõlas planeetide vaadeldava liikumisega taevaskeral.

E s i m e n e s e a d u s. *Iga planeet liigub mööda ellipsit, mille ühes fookuses asub Päike.*

Ellipsiks nimetatakse kinnist tasapinnalist kõverat, millel iga punkti kauguste summa kahest punktist, mida nimetatakse fookusteks, jääb konstantseks. Joonisel 23 on punkt O ellipsi keskpunkt, DA — suur telg, K ja S — ellipsi fookused, seega $KM + SM = DA$ = ellipsi suure telje pikkus. Mida suurem on fookustevaheline kaugus, seda väljavenitatum on ellips oma suure telje antud suuruse puhul. Ellipsi väljavenitusastet iseloomustatakse



Joon. 22. Merkuuri ja Veenuse faasi ja näiva diameetri muutused sõltuvalt asendist Maa ja Päikese suhtes.



Joon. 23. Pindalade seadus (Kepleri teine seadus).

tema ekstsentritsiteedi suurusega. Ekstsentritsiteediks e nimetatakse ellipsi keskpunkti ja ühe fookuse vahelise kauguse OS suhet suure pooltelje pikkusega OA, s. o.

$$e = \frac{OS}{OA}.$$

Planeetide elliptilised orbiidid erinevad vähe ringjoonest ja nende ekstsentritsiteedid on õige vähe suuremad nullist.

Kepleri esimesest seadusest järeldub, et planeetide kaugus Päikesest nende orbiitidel muutub. Päikesele lähimat orbiidi punkti nimetatakse periheeliks, kõige kaugemat aga afeeliks.

Maa orbiit on samuti ellips. Maa on periheelis jaanuari alguses, afeelis juuli alguses. Kuigi Maa põhjapoolkera on talvel Päikesele kõige lähemal, *mõjuvad erinevused Päikese kiirte langemisnurgas ja päeva pikkuses tugevamini kui väikesed kauguse muutused Päikesest, mis on seotud Maa tiirlemisega mööda ringist vähe erinevat ellipsit.*

Teine seadus (pindalade seadus). *Planeedi raadiusvektor kujutab võrdsetes ajavahemikkudes võrdsed pindalad.*

Planeedi raadiusvektoriks nimetatakse sirglõiku, mis ühendab planeeti Päikesega. Planeedi kiirus tema liikumisel muutub nõnda, et mõnesugusel ajavahemikul raadiusvektori poolt kujutatud pindala on üks ning sama, millises oma orbiidi osas planeet ka viibiks. Joonisel 23 on SDC, ESF ja ASH pindalad võrdsed, kui kaared DC, EF ja AH on kujutatud planeedi poolt võrdsetes ajavahemikkudes. Seega *periheeli läheduses on planeedi kiirus kõige suurem, afeeli läheduses kõige väiksem.*

Kolmas seadus. *Planeetide tiirlemisperioodide ruudud suhtuvad nagu nende orbiitide suurte pooltelgede kuubid.*

Kui ühe planeedi tiirlemisperiood ja orbiidi suur pooltelg tähistada T_1 ja a_1, teise planeedi puhul aga T_2 ja a_2 abil, siis kolmas Kepleri seadus väljendub valemiga:

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

Teades vaatlustest planeetide tiirlemisperioode, võib selle seaduse põhjal määrata planeetide orbiitide suured poolteljed, võrreldes Maa orbiidi suure poolteljega ja võttes viimase ühikuks. Peame silmas, et planeedi orbiidi suur poolteljega on tema keskmiseks kauguseks Päikesest. Päikese ja planeedi vaheliste kauguste poolsumma afeelis ja periheelis on võrdne planeedi orbiidi suure poolteljega; jooniselt 23

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

kus *OD* on orbiidi suur poolteljega. Kuna Kepleri III seaduse alusel võib leida kõigi planeetide kaugused Päikesest, kui on teada Maa kaugus Päikesest, siis on Maa orbiidi suur poolteljega võetud kauguste mõõtmisel ühikuks. Teda nimetatakse astronoomiliseks ühikuks, tema pikkus on 149 500 000 km.

Harjutus 1.

1. Marss on Päikesest 1,5 korda kaugemal kui Maa. Kui pikk on Marsi «aasta»?
2. Pluuto tiirlemisperiood on 250 aastat. Kui pikk on tema orbiidi suur poolteljega?

14. Maa kuju ja mõõtmete kindlaksmääramine. 1. Maa kerasus. Sageli kasutatakse Maa kerasuse tõestamiseks nähtusi, mis tegelikult kriipsutavad alla ainult maapinna kumerust või kõverust. Selliseks maapinna kõveruse tõestuseks on näiteks fakt, et merel lähenevast laevast hakkavad kõigepealt paistma mastid ja siis alles laeva kere.

Ümbermaailmareisid tõestavad ainult Maa kuju suletud vormi, tema eraldatust ruumis ning seda, et puudub piir, kus toimub kohtumine taevaga.

Vahetult jälgitavad nähtused, mis tõestavad Maa kerasust, on järgmised:

a) Maa mistahes kohas kujutab horisont endast ringjoont ja horisondi kaugus merepinna tasemel on alati ühesugune;

b) kuuvarjutuste ajal on Kuule langeva Maa varju piirjooneks alati ringjoone lõik. Ainult kera varju piirjoon on mistahes asendi korral ringjoon.

Rakettide abil saadud fotod Maast ning maailma esimeste kosmonautide Gagarini ja Titovi fotod Maast näitavad, et kõik Maa piirjooned kujutavad endast ringjoone suuremaid või väiksemaid lõike. Maa täpne kuju ja mõõtmed tehakse kindlaks kraadimõõtmiste abil.

2. Maa mõõtmete kindlaksmääramine. Maa mõõtmete kindlaksmääramine seisneb meridiaanikaare üheaegses mõõtmises nii pikkusmõõdus kui ka kraadides. Ühel meridiaanil

asuva kahe maakoha vaheline kaugus mõõdetakse kõigepealt ära kilomeetrites (saadakse näiteks n kilomeetrit). Siis tehakse astronoomilisel teel (näiteks Põhjanaela kõrguse järgi) kindlaks nende punktide geograafilised laiused. Olgu laiuste vahe m kraadi. Suhe $\frac{360}{m}$ näitab siis seda, millise osa ringjoone kogupikkusest moodustab meie poolt mõõdetud kaar. Selle alusel leitakse ringjoone pikkus ehk Maa ümbermõõt kilomeetrites järgmise lihtsa seose abil:

$$S = n \left(\frac{360}{m}\right).$$

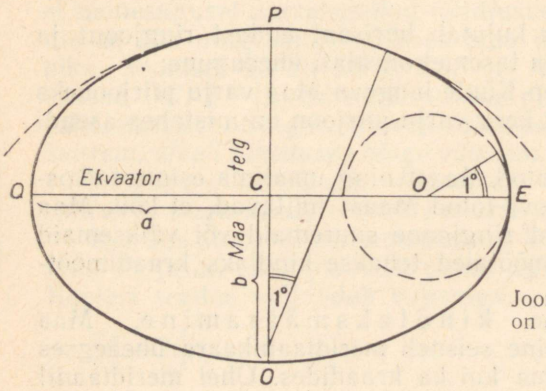
Kirjeldatud meetodit nimetatakse kraadimõõtmiseks. Teades Maa ümbermõõtu, võib seda 2π-ga jagades saada Maa raadiuse pikkuse. Kirjeldatud arvutuste teel saadakse kerakujuliseks loetud Maa raadiuseks 6271 km, ümbermõõduks aga umbes 40 000 km.

Ulatuslikud kraadimõõtmised viidi mõõdunud sajandil läbi vene teadlase W. Struve juhtimisel. Tänapäeval on suuri Maa meridiaanikaare mõõtmisi viidud läbi meie kodumaal.

3. Maa lapikus. Mõõtmised Maa erinevates punktides näitasid, et Maa kõverus on ekvaatoril suurem kui poolustel (joon. 24). See tähendab, et Maa ei ole kera; ta on nagu piki telge kokku surutud. Maa polaarne raadius on ekvatoriaalsest raadiusest 21 km lühem, mis moodustab umbes $\frac{1}{300}$ ekvatoriaalsest raadiusest.

Maa lapikus on ümber telje pöörlemisel tekkiva kesktõukejõu tagajärg.

Sellist kokkusurumist võib demonstreerida elastse terasplekist rõnga (teljele kinnitatud) ja kooli tsentrifugaalmasina abil. Pöörlemisest tingitud lapikus on omane kõigile planeetidele. Nii näi-



Joon. 24. Maa kõverus ekvaatoril on suurem kui poolustel.

teks on Maast palju kiiremini oma telje ümber pöörlevad Jupiter ja Saturn palju rohkem lapikud. *Lapikusest tingituna ei ole Maa mitte kera, vaid pöördellipsoid.* Ettekujutust Maa kujust on oluliselt täiendanud nõukogude teadlased. Ilmneb, et Maa tõeline kuju on väga keerukas isegi siis, kui mitte arvestada selliseid ebakorrapäraseid moodustisi nagu mäed.

15. Parallaktiline nihkumine ja taevakehade kauguse määramine. Taevakehade kauguse määramiseks kasutatakse p a r a l l a k t i l i s e n i h k u m i s e nähtust. Parallaktiline nihkumine on eseme näiv nihkumine, mille põhjuseks on vaatleja asukoha muutus.

Selgitame seda näitega. Kui vaadelda ühe silmaga oma sõrme seina taustal, siis näeme sõrme kindlas suunas. Kui vaadata nüüd sõrme teise silmaga, siis näeme seda teises suunas, sõrm paistab seina taustal teises kohas.

Nende kahe punkti vahelist kaugust, milledest vaatleja määrab eseme asukohta, nimetatakse b a a s i k s. On kerge veenduda selles, et parallaktiline nihe suureneb baasi suurenemisega ja vaadeldava eseme kauguse vähenemisega. Ülalkirjeldatud näites on baasiks vaatleja silmade vaheline kaugus.

Teades baasi pikkust ja mõõtes nurgad baasi ja selle otstest võetud eseme vaatesuundade vahel, võib määrata eseme kauguse arvutamise teel, ilma et tarvitseks seda kaugust otseselt mõõta. Seda meetodit kasutatakse laialt maamõõtmisel, sõjaasjanduses ning astronoomias, nimelt taevakehade kauguse määramiseks.

Olgu näiteks vaja määrata kaugus *AB* puuni *A* (joon. 25), mis kasvab jõe teisel kaldal. Selleks valime meiepoolsel kaldal punkti *C* nõnda, et joon *BC* oleks baasiks, mille pikkust on võimalik hõlpsasti ja täpselt mõõta. Seejärel, asudes ise punktis *B*, mõõdame nurgamõõtmise riistaga nurga *ABC*, milleks suuname riista algul esemele, seejärel aga punktile *C* (kuhu harilikult lüüakse vai).

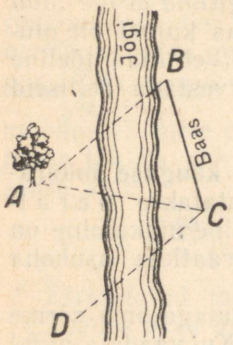
Seejärel viime riista punkti *C* ja samal viisil mõõdame nurga *ABC*. Saame kolmnurga, milles on teada üks külg (baasi *BC* pikkus) ja selle kaks lähisnurka. Sel juhul võib trigonomeetria või konstruktsiooni abil leida kahe teise külje pikkuse — *BA* ja *CA*, s. o. eseme kauguse.

Märgime veel, et joonisel 25 on parallaktiline nihkumine kujutatud nurgaga *DCA*, mis võrdub nurgaga *CA* (suund esemele *A* punktist *C*) ja *BA* vahel.

Parallaksiks nimetatakse nurka, mille all paistab vaatleja baas esemelt vaadatuna. Joonisel 25 on parallaksiks nurk *BAC*.

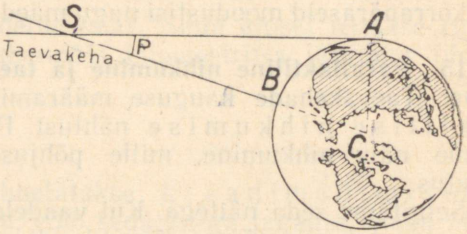
Parallaks ja parallaktiline nihkumine on võrdsed. Antud kauguse juures baasi suurendamine suurendab parallaksi mõõtmise täpsust ning tõstab järelikult selle kauguse määramise täpsust.

Taevakehade kauguse määramise põhiliseks meetodiks on nende parallaksi määramine. Seejuures tuleb aga võtta erinev



Joon. 25. Juurdepääsmatu eseme kauguse mõõtmine.

Joon. 26. Taevakeha horisondiline parallaks.



baas päikesesüsteemi kehade ja selle piiridest kaugel väljaspool asuvate kehade jaoks. Päikesesüsteemi kehade jaoks, mis on meile võrdlemisi lähedal, näiteks Päikese, Kuu ja planeetide puhul, osutub küllaldaseks baasiks Maa raadius.

Horisondiliseks parallaksiks nimetatakse nurka, mille all paistaks Maa raadius taevakehalt vaadatuna, kui vaatesuunad on risti raadiusega (joonisel 26 nurk *ASB*).

Kui kaks vaatlejat, kelledest üks näeb taevakeha horisondil, teine aga seniidis, vaatlevad seda taevakeha üheaegselt, siis nurk nende vaatesuundade vahel (s. o. parallaktiline nihkumine) ongi antud taevakeha horisondiline parallaks.

Kuu, Päikese või planeedi horisondilise parallaksi määramisel on vaja, et kaks vaatlejat üheaegselt vaatleksid seda taevakeha punktidest *A* ja *B* (joon. 26). Tegelikult aga tuleb vaatlejatel asetuda tavaliselt teisiti ja siis on parallaksi arvutamine vaatluste põhjal juba pisut keerulisem.

Hiljuti rakendati Kuu kauguse määramiseks nõukogude teadlaste poolt väljatöötatud uut meetodit. See meetod seisis selles, et määrati aeg, mille jooksul Kuule suunatud raadiolaine jõuab Kuule ning peegeldub sellelt tagasi. Tulemus oli täielikus kooskõlas kaugusega, mis on tuletatud Kuu ja teiste planeetide parallaksi astronoomilisest määramisest.

Kui taevakeha parallaks on kindlaks määratud, siis saab arvutada tema kauguse *D*.

Joonisest 26 nähtub, et $D = \frac{R}{\sin p}$, kus *R* on kasutatud baas (*AC*), *p* aga horisondiline parallaks ($< ASC$). Võttes *R* (Maa raadius) ühikuks, me saame taevakeha kauguse *D* väljendatuna Maa raadiustes.

Tähtsaimad parallaksid ja neile vastavad kaugused on järgmised. Kuu horisondiline parallaks on 57′, keskmine kaugus Maast 384 000 km (ümmarguselt 400 000 km); Päikese horisondiline

parallaks on 8″,80, kaugus Maast 149 500 000 km (ümmarguselt 150 miljonit km).

Taevakehade puhul, mis on kaugel väljaspool päikesesüsteemi piire, s. o. kinnistähtede puhul, osutuvad Maa raadius ja diameeter baasiks liiga väikesteks. Tähtede puhul võetakse baasiks Maa orbiidi suur pooltelg, kuid paljude eriti kaugete tähtede jaoks on seegi baas liiga väike.

Aastaparallaksiks nimetatakse nurka, mille all taevakehalt paistaks Maa orbiidi suur pooltelg, kui ta on risti vaatesihiga.

16. Taevakehade suuruse määramine. Et määrata taevakeha joonsuurust, tuleb mõõta nurk, mille all meile paistab tema raadius, ja teada taevakeha kaugust. Joonisel 27 näeks vaatleja Maa keskpunktist T taevakeha raadiust R nurga ϱ all.

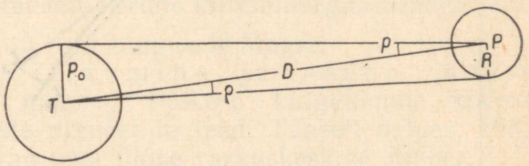
Tähistame Maa keskpunkti kauguse taevakeha keskpunktist tähega D, siis

$$R = D \sin \varrho.$$

Kui väljendada D Maa raadiustes, siis me saame ka R Maa raadiustes. Kui D väljendada kilomeetrites, siis ka R saadakse kilomeetrites. Näiteks Kuu kaugus $D = 60$ Maa raadiust. Kuu raadiust aga me näeme 16′ nurga all. Kuu jaoks

$$R = 60 \cdot \sin 16' = 0{,}27 \text{ Maa raadiust.}$$

Taevakehade kauguse ja mõõtmete määramine on üks neist arvukatest näidetest, mis tõestavad inimmõistuse piiramatuid võimalusi. Nende mõõtmiste tulemused näitavad veel kord printsipiaalsete erinevuste puudumist Maa ja teiste taevakehade vahel, vastupidi sajandeid eksisteerinud religioossetele vaadetele.



Joon. 27. Taevakehade suuruse määramine.

17. Üldise gravitatsiooni seadus ja järeldused sellest. 1. Gravitatsiooniseadus. Planeetide liikumiste põhjus jäi tundmatuks kuni XVII sajandi lõpuni, mil inglise teadlane Newton avastas üldise tõmbejõu ehk gravitatsiooni seaduse. See seadus seisab selles, et kõik kehad maailmas (nagu kõik mateeria osakesed üldse) tõmbuvad üksteise poole jõuga, mis on võrdeline nende masside korrutisega ja pöördvõrdeline nendevahelise kauguse ruuduga. Algebraliselt avaldub see järgmiselt:

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

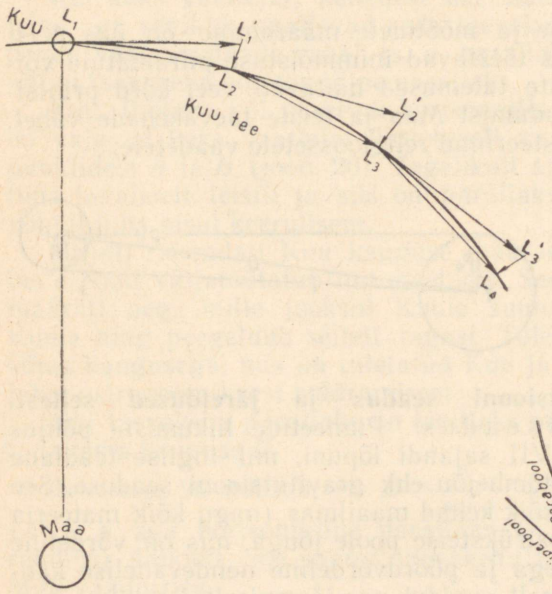
kus m_1 ja m_2 on kahe vaadeldava keha massid, r — nendevaheline kaugus, f — koefitsient, mille arvuline suurus oleneb ühikutest, milledes on väljendatud massid ja kaugused. Seda suurust nimetatakse gravitatsiooni konstandiks. Katsest on teada, et kaks massi, kumbki 1 g, tõmbuvad 1 cm kaugusel teineteise poole jõuga $6{,}673 \cdot 10^{-8}$ düüni. Seepärast, väljendades massid grammides, kauguse aga sentimeetrites, peame (et saada F düünides) võtma

$$f = 6{,}673 \cdot 10^{-8} \frac{\text{cm}^3}{\text{g/s}^2}.$$

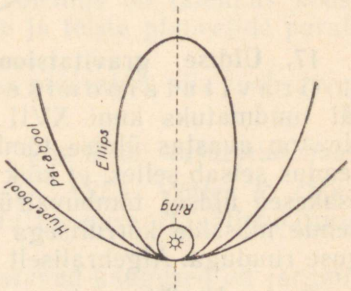
2. Kuu liikumine ja Maa külgetõmbejõud. Newton tõestas, et Maa külgetõmme, mille mõjul kõik esemed langevad Maa peale, levib kaugemalegi, nõrgenedes võrdeliselt kauguse ruuduga Maa keskpunktist. See tähendab,et tõmbejõu ehk Maa raskusjõu mõju ulatub lõpmatusse. Maa raskusjõud hoiab ka Kuud tema orbiidil, muidu Kuu rebiks end Maast lahti ja liiguks eemale oma orbiidile tõmmatud puutuja suunas.

See Kuu tõmbumine Maa poole osutubki selleks kesktõmbejõuks, mida iseloomustab Kuu liikumisel esinev kesktõmbekiirendus.

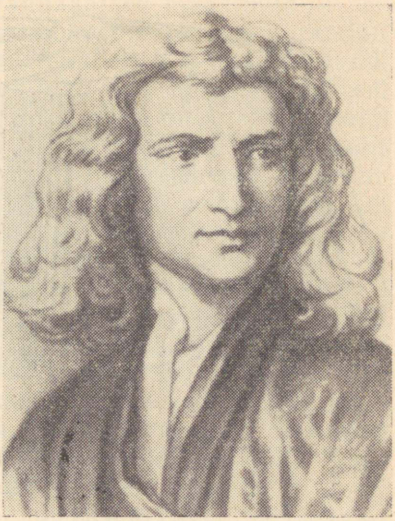
Kuu, liikudes punktist L_1 (vt. joon. 28) mööda puutujat, satuks mingi ajavahemiku pärast punkti L_1'. Kuid sama aja jooksul ta



Joon. 28. Kuu «langemine» Maa suunas.



Joon. 29. Orbiitide kujud.



Isaac Newton (1643—1727).

langeb Maa poole lõigu $L_1'L_2$ võrra ning satub tegelikult punkti L_2 jne. Niisuguse liikumise tulemusena tiirleb Kuu kogu aeg ümber Maa.

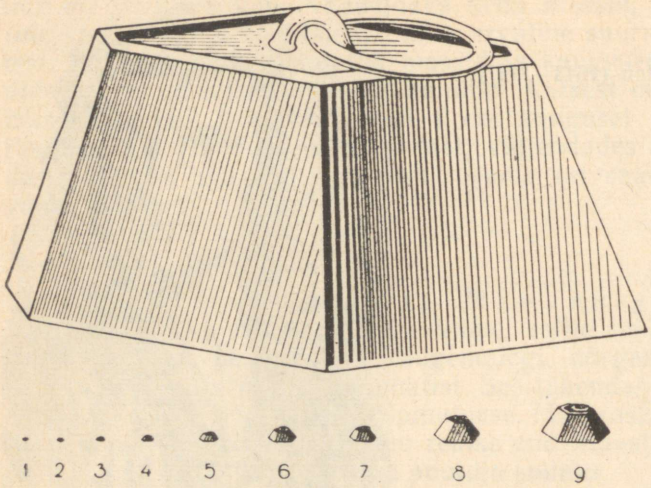
Newtoni suureks teeneks oli see, et ta tõestas tema poolt avastatud taevakehadevahelise gravitatsioonijõu ja inimestele kogemustest ammu tuntud maise raskusjõu samasuse. Newton tõestas, et mõlemad ülalnimetatud jõud muutuvad pöördvõrdeliselt kauguse ruuduga ja eriti, et kiirendus, millega Kuu langeb Maa poole ($0{,}27\,\frac{cm}{s^2}$), on täpselt võrdne kiirendusega, millega langeks kivi, kui me viiksime ta Kuu kaugusele Maast.

3. Taevakehade liikumine ja nende massi määramine. Maa mass. Päikese külgetõmme kõverdab pidevalt Maa ja teiste planeetide teed. Täpselt öeldes, kõik planeedid ja Päike liiguvad oma ühise raskuskeskme ümber.

Planeetide kaaslased tiirlevad gravitatsiooni mõjul ümber oma planeedi täpselt samuti, nagu Kuu tiirleb ümber Maa viimase gravitatsiooni mõjul.

Päikesesüsteemist väljaspool esineb kahest tähest koosnevaid süsteeme, kus mõlemad tähed samuti liiguvad oma ühise raskuskeskme ümber gravitatsioonijõu mõjul. Seepärast nimetatakse ka Newtoni poolt avastatud seadust üldise gravitatsiooni seaduseks.

Newton tõestas, et gravitatsiooni tõttu peavadki planeedid liikuma Kepleri seaduste kohaselt. Newton fikseeris need seadused täpsemalt kui Kepler. Newton tõestas, et teatud tingimuste juures *võib üks keha gravitatsiooni mõjul liikuda mitte ainult*



Joon. 30. Päikese ja planeetide masside võrdlus:
1 — Merkuur; 2 — Marss; 3 — Pluuto; 4 — Veenus; 5 — Maa; 6 — Uraan; 7 — Neptuun; 8 — Saturn; 9 — Jupiter.

mööda ellipsit, vaid ka mööda ringi, mööda parabooli ja mööda hüperbooli (joon. 29).

Edasi tõestas Newton, et Kepleri kolmas seadus ei ole täiesti täpne, vaid et kahe teineteisest teatud kaugusel asuva keha vastastikuse tiirlemise periood oleneb veel nende massidest. See sõltuvus annab võimaluse taevakehade masside kindlaksmääramiseks, kui üks tiirleb ümber teise ning nendevaheline kaugus on teada.

Päikese mass ei ole mitte ainult mistahes planeedi massist tohutult suurem, vaid ka 750 korda suurem kõigi planeetide masside summast (joon. 30). Seepärast kõik planeedid tiirlevadki ümber Päikese, saades temalt kesktõmbekiirenduse (gravitatsioonikiirenduse). Maa massi võib ligikaudselt määrata, kui mõõta nurk, mille võrra kaldub kõrvale püstlood (pendel) vertikaalsihist temale mõjuva mäe külgetõmbe tõttu, kui kaugus mäeni ja viimase mass on teada. Loodi kõrvalekaldumise nurk oleneb mäe ja Maa massi suhtest, loodi ja Maa keskpunkti ning loodi ja mäe keskpunkti vaheliste kauguste suhtest. Maa täpset massi saab määrata teiste meetoditega. Maa mass on $6 \cdot 10^{27}$ g, tema keskmine tihedus $5{,}5 \frac{g}{cm^3}$.

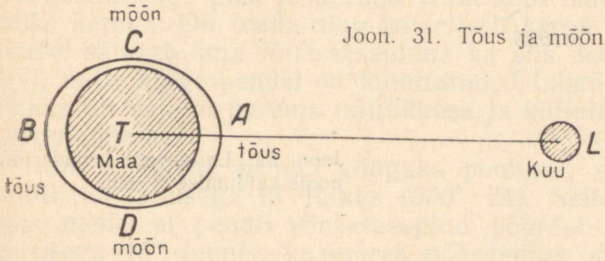
4. T õ u s j a m õ õ n. Avamerede ja ookeanide kallastel esineb iga päev vee taseme kõikumine. Kaks korda ööpäeva jooksul

vee tase tõuseb ja vesi ujutab üle rannaäärsed madalikud — see on tõus. Samuti kaks korda ööpäeva jooksul voolab vesi rannalt ära, vee tase langeb — see on mõõn. Mõõn saabub umbes 6 tundi pärast tõusu, veel 6 tunni pärast aga algab jälle tõus, nii et ühest tõusust kuni järgmiseni möödub 12 tundi (täpsemalt — 12 tundi 25 minutit). Seega on keskmiselt 24 tunni 50 minuti kestel kaks tõusu ja kaks mõõna. Umbes samasugune ajavahemik möödub Kuu kahe ülemise naaberkulminatsiooni vahel. Newton tõestas, et tõus ja mõõn on seotud Kuu tõmbejõuga. Kuu tõmbab enda poole Maa erinevaid punkte erineva jõuga, lähemaid tugevamini, kaugemaid nõrgemini. Niisuguse tõmbejõudude erinevuse tulemusena venib Maa veekiht välja piki joont, mis ühendab Maad ja Kuud (joon. 31). Seal, kus veekiht välja venib, on ta tase kõrge, seal on tõus. Maa ööpäevase pöörlemise tulemusena toimub tõus järgemööda Maa erinevates punktides ning ühes ja samas maakohas tõusud ja mõõnad vahelduvad. Kui punktis *A* on tõus, siis, pööreldes *C* suunas, satub ta poole ööpäeva jooksul jälle tõusu piirkonda, sinna, kus joonisel asub punkt *B* (joon. 31).

5. Häireid planeetide liikumises. Planeet Neptuuni avastamine. Kui ümber Päikese tiirleks ainult üks planeet, siis liiguks ta täpselt Kepleri seaduste järgi. Tõeliselt aga on olemas ka teised planeedid ja ka neil on vastastikune külgetõmme. Seetõttu planeetide liikumised kalduvad kõrvale liikumistest Kepleri seaduste järgi. Neid üldiselt *väga väikesi kõrvalekaldumisi planeetide liikumistes, võrreldes liikumistega Kepleri seaduste järgi, nimetatakse häireteks.*

Häirete tõttu liiguvad planeedid kord kiiremalt, kord aeglasemalt kui Kepleri teise seaduse järgi; samuti ei osutu nende orbiidid korrapärasteks ellipsiteks, vaid muutuvad pidevalt. Kaasaegses teaduses arvutatakse need häired väga täpselt üldise gravitatsiooni teooria ja Päikese ning planeetide masside, samuti nendevaheliste kauguste tundmise alusel.

1781. a. avastas inglise astronoom William Herschel (1738—1822), tol ajal veel tundmatu astronoom-asjaarmastaja, iseenda valmistatud teleskoobi abil seni täiesti tundmata planeedi — seitsmenda kauguse järel Päikesest. See planeet nimetati Uraaniks.



Joon. 31. Tõus ja mõõn Maa veekihis (skeem).

XIX sajandi algul selgus, et planeet Uraani liikumine erineb pisut liikumisest, mis oli varem ette arvutatud, arvestades tõmbejõudu nii Päikese kui ka kõigi tol ajal tuntud planeetide poolt. Olgugi et need vaatluste lahkuminekud teooriast olid õige tühised, ei võinud astronoomid nendega leppida. Oletati, et kõrvalekaldumised Uraani liikumises toimuvad tundmatu planeedi tõmbejõu mõjul, mis asub Päikesest veel kaugemal kui Uraan. Teadlased Le Verrier ja Adams arvutasid välja selle planeedi asukoha taevas ja nende näpunäidete järgi avastati 1846. a. see seni tundmatu planeet tõepoolest. Ta nimetati Neptuuniks.

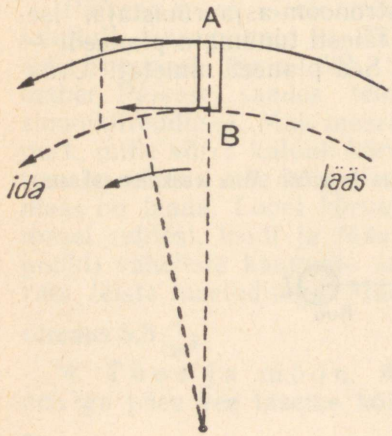
Planeedi avastamine nii-öelda «sule otsaga», kabinetis, osutub üheks suurimaks inimmõtte saavutuseks. See tõestab hiilgavalt teadusliku ettenägemise jõudu, looduse tunnetatavust teaduse võimsate meetodite abil.

Harjutus 2.

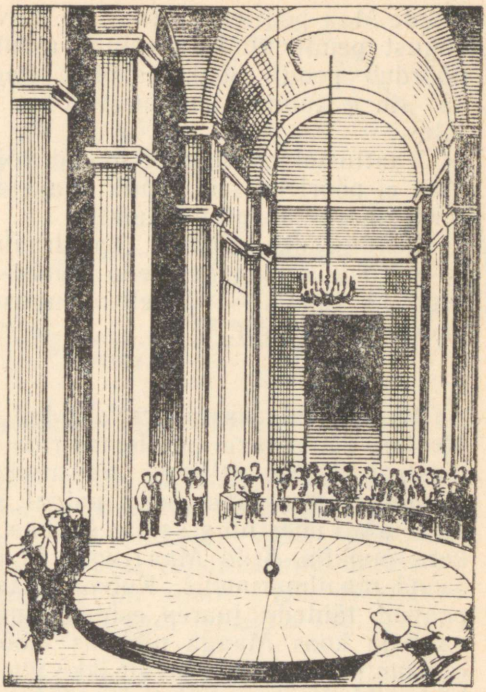
Arvutada niisuguse punkti kaugus maapinnast, milles Maa ja Kuu külgetõmbejõud on võrdsed, teades, et Maa ja Kuu vaheline kaugus on võrdne Maa 60 raadiusega ning Maa ja Kuu massid suhtuvad nagu 81:1.

18. Maa ööpäevase pöörlemise tõestus. Toome kaks Maa pöörlemist kõige ilmekamalt tõestavat näidet.

A. Langevate kehade kaldumine ida poole. Kujutleme endale maapinda kaevatud sügavat vertikaalset šahti *AB* (joon. 32). On arusaadav, et šaht pöörleb koos Maaga. Pöörlemisel on šahti sissekäigul *A* suurem joonkiirus kui põhjal *B*, sest sissekäik on pöörlemispunktist kaugemal. Pöörlemiskeskpunktis on antud juhul punkt Maa ööpäevase pöörlemise teljel. Šahti sissekäigu juures oleval kuulikesel on sama joonkiirus mis sissekäigul endal. Mööda šahti alla kukkudes säilitab kuulike inertsi mõjul oma ülalmärgitud joonkiiruse. Langedes alla ning säilitades seejuures šahti põhjaga võrreldes suurema idasse pöörlemise (Maa



Joon. 32. Langevate kehade ida poole kaldumise skeem.



Joon. 33. Leningradis demonstreeritav Foucault' pendel.

pöörleb läänest itta) kiiruse, jõuab kuulike šahti põhjast tema itta liikumises ette. Seepärast ei lange kuulike mitte Maa keskpunkti poole, vaid kaldub itta, mida ei tohiks juhtuda, kui Maa seisaks paigal (ei pöörleks ümber telje). Maa ekvaatoril on see kaldumine kõige suurem, poolustel seda aga ei esine.

Paljud sellised, väga täpselt korraldatud katsed kinnitavad täielikult vaatluste ja arvutuste kooskõla. Näiteks kaldub laiusel 53° 85 m kõrguselt langenud kuulike 10,4 mm itta.

B. F o u c a u l t' p e n d e l. Katses, mille esimesena sooritas aastal 1851 prantsuse teadlane Foucault, kasutati pendlit, mille moodustas väga pikk ja peenike traat koos tema külge kinnitatud raske keraga. On teada ning katseliselt kerge kontrollida, et iga pendel säilitab oma võnketasapinna ka siis, kui me pöörame statiivi, mille külge pendel on kinnitatud. Ülalmärgitud pendli suur pikkus oli vajalik parema näitlikkuse ja küllalt kestva võnkumise saavutamiseks.

Kui niisugune pendel võnguks poolusel, siis pöörduks Maa pendli all kiirusega 15° tunnis (360° : 24). Selle tulemusena paistaks meile, et pendli võnketasapind pöördub maapinna suhtes kiirusega 15° tunnis, kusjuures pöördumise suund oleks vastu-

pidine Maa pöörlemise suunale. Ekvaatoril aga ei toimuks mingisugust pendli võnketasapinna muutumist. Vahepealsetel laiustel pöördub pendli võnketasapind, nagu näitab teooria, kiirusega 15° sin φ tunnis, kusjuures φ on antud maakoha geograafiline laius.

Vaatlustel on eespool toodut võimalik näha. On selge, et kui Maa ei pöörleks, siis pendli võnketasapinna muutumist ei esineks mitte üheski maapinna punktis.

Leningradis, Iisaku katedraali hoones, demonstreeritakse 98 m pikkust pendlit. Selle pendli võnketasapind pöördub kiirusega 13° tunnis — täpselt niisuguse kiirusega, nagu nõuab Maa pöörlemise teooria.

19. Tähtede aastaparallaks kui Maa ümber Päikese tiirlemise tõestus. Tänapäeval on olemas rida Maa ümber Päikese tiirlemise tõestusi. Üheks selliseks tõestuseks on tähtede aastaparallaksi olemasolu. Kui Maa püsiks paigal, siis vaatleja näeks Maalt iga tähte alati ühes ning samas suunas, alati ühes ning samas taevaskera punktis. Kuid Maa liigub ja ühes temaga muutub vaatleja asend maailmaruumis. Kuivõrd vaatleja muudab oma asukohta, peavad tähtede juures esinema parallaktilised nihkumised. Kui vaatleja koos Maaga nihkuks mööda sirget, siis parallaktiline nihkumine mõjuks pidevalt ikka ühes ning samas suunas ja mõni täht nihkuks taevavõlvil kuust kuusse ja aastast aastasse ikka ühele poole.

Et vaatleja koos Maaga aasta jooksul liigub ümber Päikese peaaegu mööda ringjoont ja aasta pärast kordab sama teed uuesti, siis peavad tähtede parallaktilised nihkumised olema perioodiga üks aasta. See näiv tähtede nihkumine peab olema perioodiline.

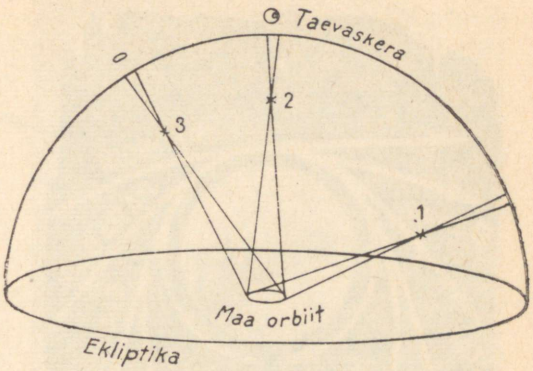
Tähtede aastast parallaktilist nihkumist on kerge endale selgeks teha järgmise katse abil. Jälgime, kuidas muutub lambi asend lae tagapõhjal vaatleja liikudes ümber laua, mis seisab lambi all. Meile näib, et lamp, nihkudes lae taustal, kujutab mingi suletud tee.

Joonisel 34 on skemaatiliselt näidatud tähtede parallaktiline nihkumine Maa liikumisel ümber Päikese mitmesugusel kaugusel neist tähtedest ja mitmes suunas, milles nad paistavad.

Aastaparallaksi nähtus seisab selles, et iga täht kujutab taevavõlvil aasta jooksul suletud kõvera, mille kuju sõltub tähe suunast Maa orbiidi tasapinna suhtes, nurksuurus aga tähe kaugusest.

Sageli on tähtede kaugused Maast sedavõrd suured, et nende parallaktilised nihkumised kujunevad äärmiselt väikesteks. Seepärast ei võinud XVII ja XVIII saj. astronoomid märgata tähtede parallaktilist nihkumist, sest neil polnud veel vajaliku täpsusega mõõteriistu.

Alles 1837. a. läks vene teadlasel W. Struvel esimesena korda



Joon. 34. Tähtede aastane parallaktiline nihkumine sõltuvalt nende kaugusest ja asendist ekliptika suhtes.

kõige täpsemate riistade abil avastada ja mõõta ühe lähima tähe parallaks.

Kõige suurem parallaks on meile lähimal tähel, nimega Proxima Kentauris (ladina keeles *proxima* tähendab «lähim»; NSV Liidus Kentauri tähtkuju ei ole nähtav). Vahe tema äärmiste, suurimate nihete vahel taevaskeral (ajamomentidel, mis on lahutatud pooleaastase vahemikuga) on ainult $1\frac{1}{2}''$. Niisuguse nurga all paistab 1 mm diameetriga traadi jämedus 140 m kauguselt.

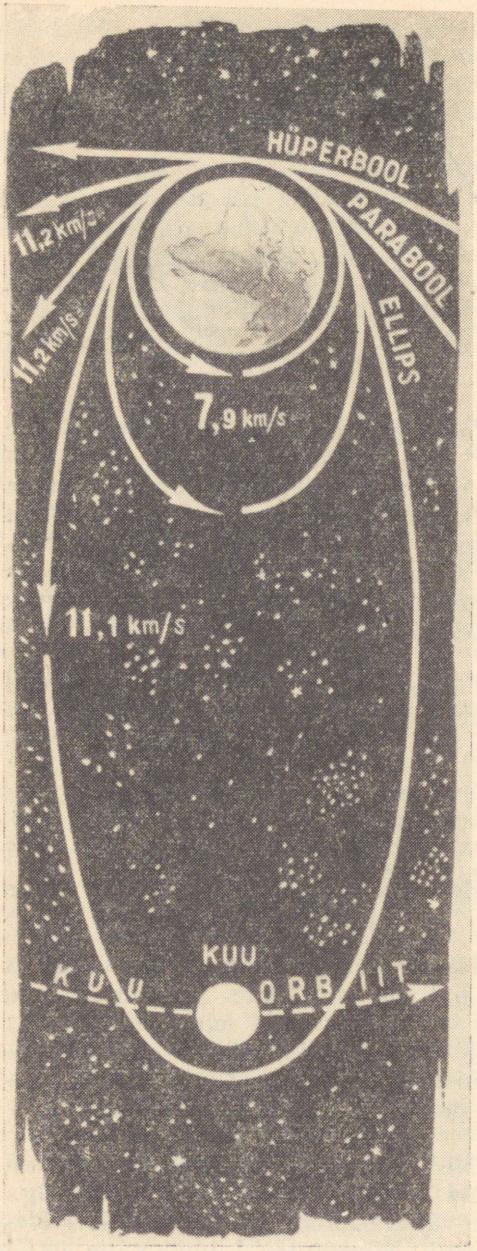
Märgime, et taevakehade kohta, mis nagu Maagi tiirlevad ümber Päikese, näiteks planeetide ja komeetide kohta, pole aastaparallaksi mõiste rakendatav.

Harjutus 3.

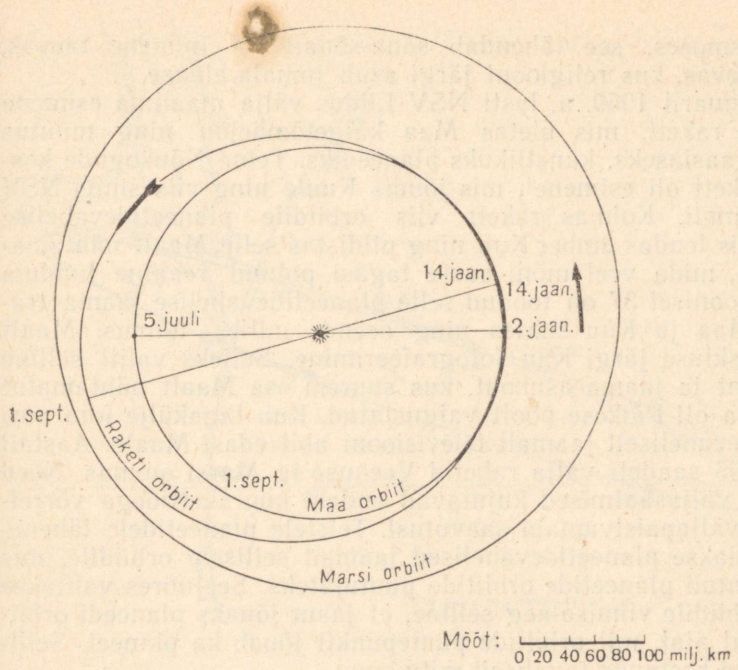
1. Päikese parallaks on 8″,80, tema raadius paistab meile 16′ nurga all. Mitu korda on Päikese diameeter Maa diameetrist suurem?
2. Missuguses kõige suuremas nurkkauguses tähest α Kentauris peaks olema Maalt nähtav planeet, mis tiirleks selle tähe ümber temast 150 000 000 km kaugusel?

20. Maa kunstlikud kaaslased. Kosmoselennud. Lend Maalt teistesse maailmadesse oli paljude mõtlejate ja fantastiliste romaanide autorite unistuseks. Aga alles vene leidur Konstantin Eduardovitš Tsiolkovski (1857—1935) töötas välja reaalse teooria Maa külgetõmbejõu ületamise kohta — reaktiivliikumise teooria. Tsiolkovski unistused ja projektid realiseeriti meie maal — suure õpetlase kodumaal.

4. oktoobril 1957. a. lasti NSV Liidus välja maailma esimene Maa kunstlik kaaslane. Sellele järgnes keerulise aparatuuriga varustatud kunstlike kaaslaste väljalaskmine Maa atmosfääri ülemiste kihtide uurimise eesmärgil. Nõukogude Liidus väljalastud teisel Maa kunstlikul kaaslasel saadeti kosmosesse esimene elusorganism — koer Laika. See katse tõestas elusorganismi kosmoselennu võimalikkuse. Kosmoselaevadele — Maa kunstlikele



Joon. 35. Kunstliku kaaslase orbiit on seda enam välja venitatud, mida suurem on kaaslase algkiirus.



Joon. 36. Esimese Nõukogude kosmilise raketi orbiit pärast tema muutumist Päikese kunstlikuks kaaslaseks.

kaaslastele — hakati paigutama koeri ja teisi loomi; nende käitumist ja olukorda uuriti lennu kestel hoolikalt ja üksikasjaliselt. Kõik loomad jõudsid edukalt Maale tagasi. Mõõteriistade näidud ning andmed loomade seisukorra kohta anti Maale edasi televisiooni ja raadio abil. Nii toimus inimese kosmoselennu ettevalmistamine.

Maailma-ajalooline sündmus — inimese esimene lend kosmosesse toimus 12. aprillil 1961. a. Major Juri Gagarin lendas kosmoselaeval 1 t. 48 minutiga ümber Maa kiirusega 8 $\frac{km}{s}$. Tema laev lendas kümneid kordi kõrgemal kui reisilennukid. Kosmoselaev esimese kosmonaudi Juri Gagariniga maandus edukalt varem kindlaksmääratud piirkonnas. Sellele väljapaistvale saavutusele järgnesid teiste kosmonautide pikemaajalised lennud. Esimesena väljus kosmoselaevast vahetult kosmosesse 1965. aastal Nõukogude kosmonaut A. Leonov.

Teistesse maailmadesse lendamise ja Maale tagasipöördumise probleem on NSV Liidus muutunud tehniliselt teostatavaks. See avab piiramatud võimalused looduse edasiseks alistamiseks. Ini-

mene kosmoses, see tähendab sõna-sõnalt — inimene taevas, samas taevas, kus religiooni järgi asub jumala eluase.

2. jaanuaril 1959. a. lasti NSV Liidus välja maailma esimene kosmiline rakett, mis ületas Maa külgetõmbejõu ning muutus Päikese kaaslaseks, kunstlikuks planeediks. Teine Nõukogude kosmiline rakett oli esimene[1], mis jõudis Kuule ning viis sinna NSV Liidu vimpli. Kolmas rakett viis orbiidile planeetidevahelise jaama, mis lendas ümber Kuu ning pildistas selle Maalt nähtamatut külge, mida veel mõni aasta tagasi polnud reaalne tundma õppida. Joonisel 37 on toodud selle planeetidevahelise jaama trajektoor Maa ja Kuu suhtes ning asend, milles toimus Maalt antud käskluse järgi Kuu fotografeerimine. Selleks valiti selline ajamoment ja jaama asukoht, kus suurem osa Maalt nähtamatut Kuu pinda oli Päikese poolt valgustatud. Kuu tagakülje foto anti planeetidevaheliselt jaamalt televisiooni abil edasi Maale. Aastail 1960—1965 saadeti välja raketid Veenuse ja Marsi suunas. Need rakettide väljasaatmised kujutavad endast kuurakettidega võrreldes veel väljapaistvamaid saavutusi. Teistele planeetidele lähenemiseks viiakse planeetidevahelised jaamad sellisele orbiidile, mis oleksid antud planeetide orbiitide puutujateks. Seejuures valitakse jaama orbiidile viimise aeg selline, et jaam jõuaks planeedi orbiidini samal ajal, mil orbiitide puutepunkti jõuab ka planeet. Sellised lennud kestavad tavaliselt mitu kuud.

Kunstlikele kaaslastele ja rakettidele paigutatud mõõteriistad on andnud palju hinnalisi andmeid atmosfääri kõige ülemistes kihtides ja kosmilises ruumis valitsevatest tingimustest. Toome siin mõned saadud andmetest.

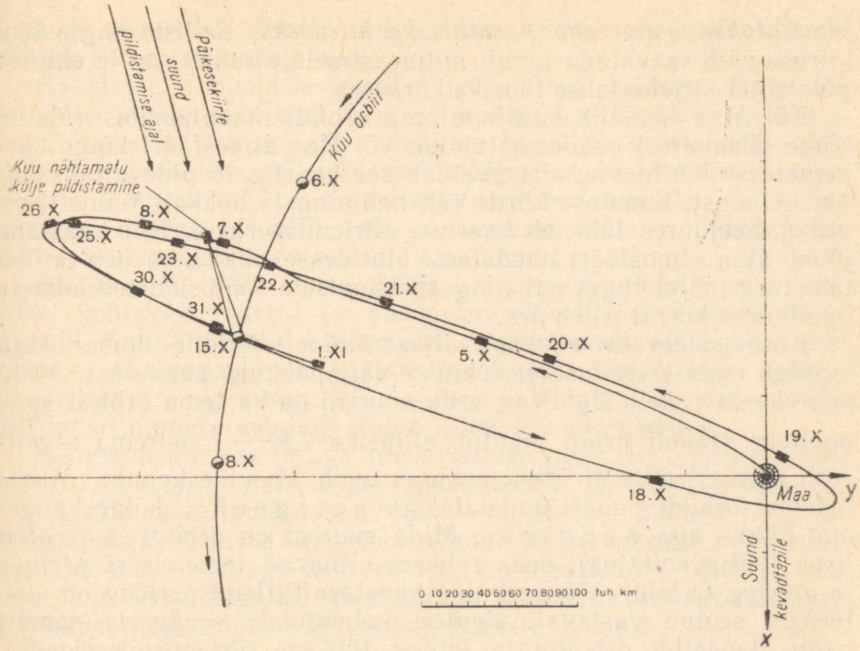
Kõrguse suurenemisega hõredamaks muutuv Maa atmosfäär ulatub mitte vähem kui 3000 km kõrgusele. Maapinnast kümnete tuhandete kilomeetrite kõrgusel asub vöönd, kus liiguvad kaootiliselt hiiglaslike kiirustega osakesed (prootonid ja elektronid). Nende osakeste kineetiline energia on seepärast määratu suur. Selliste vööndite eksisteerimise ning asukoha kindlakstegemisel on suur tähtsus kosmonautika arenemise seisukohalt, inimeste saatmisel kosmilisse ruumi. Väikeste tahkete osakeste (meteoorkehade) arv kosmilises ruumis pole aga hoopiski nii suur, et ta kujutaks suurt ohtu planeetidevahelistel lendudel.

Tehti kindlaks, et Kuu ei ole ümbritsetud selliste osakeste vööndite ga ning et Kuul puudub magnetväli. Kuna magnetvälja Kuul ei ole, siis osutub kompass tulevastele Kuu topograafia uurijatele ja «turistidele» mittevajalikuks esemeks.

Planeetidevaheliste jaamade abil on täpsustatud füüsikalisi tingimusi Veenusel ja saadud lähedalt Kuu ja Marsi pinna detailseid fotosid.

---

[1] 1964. a. jaanuaris jõudis Kuule Ameerika Ühendriikides välja lastud kosmiline rakett. Arvult on see teine Kuu pinnale langenud rakett. *Tõlk.*



Joon. 37. Kolmanda Nõukogude kosmilise raketi (planeetidevahelise jaama) orbiit.

Nõukogude Liidu planeetidevaheliste kosmiliste jaamade poolt saadud fotode järgi koostati Kuu nähtamatu külje kaart. See külg on märksa mägisem kui Kuu nähtav külg ning suuri kraatreid on seal vähem.

Elusorganismid, sealhulgas ka inimene, suudavad täielikult taluda kosmoselendudel esinevat ebaharilikku kaaluta olekut ning raketi lennu aktiivses osas esinevat tohutu suurt kiirendust.

Tehnika arenemise kõrge tase ning sotsialistliku tootmise tingimused, mis on tunduvalt eesrindlikumad kapitalistlikust tootmisest, tagasid Nõukogude Liidu edusammud kunstlike kaaslaste ja rakettide väljasaatmisel ning kosmose alistamisel inimese poolt, võimalused sõita teistesse maailmadesse ning õppida neid tundma ja kasutama.

Maa raskusjõu ületamise teooria põhialused tulenevad gravitatsiooni mõistest, mille järgi keha orbiit oleneb liikumiskiirusest. Arvutused näitavad, et keha, mis saab horisontaalsuunas kiiruse $7{,}8\,\frac{\text{km}}{\text{s}}$, ei kuku enam Maale tagasi, vaid ületab Maa külgetõmbejõu ning hakkab nagu Kuugi tiirlema ümber Maa. *Kiirust* $7{,}8\,\frac{\text{km}}{\text{s}}$

TRU Raamatukogu

nimetatakse esimeseks kosmiliseks kiiruseks. Sellise hiiglasliku kiiruse võib saavutada ainult mitmeastmeline rakett, mille ehituse põhimõtet kirjeldatakse füüsika kursuses.

Kui Maa kunstlik kaaslane oma orbiidi madalamates (Maale kõige lähemates) osades satub kas või Maa atmosfääri kõige kõrgematesse kihtidesse, siis avaldab see kaaslasele pidevalt kasvavat takistust. Kaaslase kiirus väheneb ning ta hakkab Maale lähenema. Seejuures lüheneb kaaslase tiirlemisperiood. Kui kaaslane jõuab Maa atmosfääri tihedatesse kihtidesse, siis kuumeneb ta õhu takistuse mõjul tugevasti ning spetsiaalsete soojuskaitseseadmete puudumise korral põleb ära.

Kosmoselaevade edukas väljasaatmine orbiidile ümber Maa kujutab endast teaduse ja tehnika väljapaistvat saavutust. Mida suurem on raketi algkiirus, seda suurem on ka tema orbiidi suur pooltelg (raketi orbiit muutub ellipsiks $7{,}8\ \frac{\text{km}}{\text{s}}$ suurema algkiiruse juures). Orbiidi ühes fookuses asub Maa keskpunkt. Maale lähemat orbiidi punkti nimetatakse p e r i g e e k s, kõige kaugemat punkti aga a p o g e e k s. Mida suurem on orbiidi ekstsentrilisus (väljavenitatus), seda rohkem erinevad teineteisest perigee ja apogee. Orbiidi mõõtmed ning kaaslase tiirlemisperiood on üksteisega seotud vastavalt Kepleri kolmandale seadusele samuti nagu planeetide orbiidid ja ümber Päikese tiirlemise perioodid.

Raketi viimist ettenähtud orbiidile juhitakse Maalt raadio abil. Täpselt määratud liikumise arvutused tehakse harukordse täpsusega. *Teise kosmilise kiiruse*, s. o. kiiruse $11{,}2\ \frac{\text{km}}{\text{s}}$ saavutamisel muutub kaaslase orbiit Maa suhtes paraboliks ning kaaslane ei pöördu enam Maale tagasi.

Maa pöörleb ümber oma telje, seepärast on Maa ekvaatori punktidel kõige suurem joonkiirus $\left(465\ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$. Kui rakett viia Maa ekvaatori tasapinnale lähedasele orbiidile, siis liitub mootorite poolt antavale kiirusele veel ekvaatori punktide suur joonkiirus ning kosmilise kiiruse saavutamine on kergem kui mujal Maa piirkondades. Kuid ekvaatori tasapinnale lähedasel orbiidil tiirlev kaaslane ei ole keskmistel laiustel, näiteks Euroopas, nähtav.

Maa kunstlike kaaslaste väljasaatmine keskmistel laiustel ekvaatoriga suuremate nurkade all asuvatele orbiitidele on raskem, sest Maa pöörlemine aitab sellisel juhul vähem kaasa vajaliku kiiruse saavutamiseks. Seejuures aga lendab selliselt väljasaadetud kaaslane suurema osa maapinna kohal ning on jälgitav praktiliselt tervelt maakeralt. Just selliselt saadetakse Maa kunstlikke kaaslasi välja NSV Liidust.

Rakettide eemaldumisel Maast Kuu ja Päikese külgetõmbejõud kasvab võrreldes Maa külgetõmbejõuga. Selle tulemusena muutub rakettide trajektoor. Rakettide liikumist tuleb arvestada

samade teooriate alusel, mille alusel toimub looduslike taevakehade liikumise arvestamine.

Kaaslaste liikumisele avaldab mõju Maa lapikus. Kaaslaste liikumise uurimise alusel võib selle lapikuse kindlaks määrata, millel on suur tähtsus geograafiliste kaartide koostamisel. Maa kunstliike kaaslaste abil tehtavad mõõtmised on muutnud astronoomia teataval määral eksperimentaalseks teaduseks. Astronoomias on praegu võimalik juba mõningate katsete läbiviimine, mitte ainult passiivsete vaatluste teostamine.

Astronoomia võib suurel määral ette öelda need tingimused, mida kohtavad raketid ja kosmoserändurid planeetidevahelises ruumis, Kuul ja teistel planeetidel. Astronoomia on teenäitajaks kosmose alistamisel, teenäitajaks inimkonna ajaloo uude epohhi. Ei ole enam kaugel aeg, kus teaduse ja tehnika saavutused võimaldavad inimesel lennata Kuule ja teistele planeetidele.

Religioon tõmbas terava piiri taevase ja maise vahele, kinnitas, et taevas on jumala eluase. Astronoomia näitas, et taevakehad on niisama materiaalsed kui Maa. Veel enam — mõned neist on Maaga väga sarnased. Religioon väidab, et taevakehad on jumala poolt loodud. Nüüd aga loob inimene ise taevakehi — Maa ja Päikese kunstlikke kaaslasi. See näitab inimmõtte ammendamatuid võimalusi ning religioossete tõekspidamiste tühisust.

Harjutus 4.

Teades Kuu ümber Maa tiirlemise perioodi ning Kuu orbiidi suurt pooltelge (vt. lisa raamatu lõpus), leidke Kepleri kolmanda seaduse alusel Maa kahe kunstliku kaaslase tiirlemisperioodid, kui nende perigeed on Maa pinnast 200 ja 600 km kõrgusel ja apogeed vastavalt 300 ja 3000 km. Maa lugeda seejuures kerakujuliseks raadiusega 6370 km.

II peatükk.

ASTRONOOMIA PRAKTILISED RAKENDUSED NING TAEVAKEHADE TUNDMAÕPPIMISE MEETODID.

21. Ekvaatorilised koordinaadid ja tähekaart. Tähtede leidmiseks tähistaevas, tähekaartide koostamiseks, aja määramiseks ning samuti geograafiliste koordinaatide määramiseks on tarvis teada tähtede koordinaate.

Selleks kasutatakse koordinaatide süsteeme, mis sarnanevad geograafiliste koordinaatide süsteemiga maakeral (vt. joon. 38). Taevaskeral võib tähe asukohta määrata taevaekvaatori suhtes (kraadides) samuti, nagu me määrame gloobusel või kaardil asulate nurkkaugusi Maa ekvaatorist (seda kaugust nimetatakse teatavasti geograafiliseks laiuseks). Taevakehade nurkkaugust taevaekvaatorist nimetatakse *deklinatsiooniks*. Deklinatsiooni märgitakse tähega δ. Lõunapoolkeral loetakse deklinatsiooni negatiivseks.

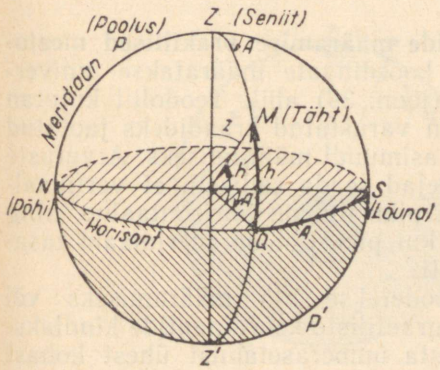
Teiseks geograafiliseks koordinaadiks maakeral on *pikkus*. Pikkuseks nimetatakse nurka antud maakoha meridiaanitasapinna ja nullmeridiaani tasapinna vahel. Taevaskeral on teiseks koordinaadiks *otsetõus*. Otsetõusuks nimetatakse nurka maailma poolust ning taevakeha läbiva poolringi (deklinatsiooniringi) tasapinna ning maailma poolust ja ekvaatoril asetsevat kevadpunkti läbiva poolringi (algdeklinatsiooniringi) tasapinna vahel. Ekvaatoril asetsevat punkti, mida läbib algdeklinatsiooniring, nimetatakse kevadpunktiks seepärast, et Päike asub taevaskeral selles punktis kevadel — 21. märtsil, siis kui öö ja päeva pikkused on võrdsed. Otsetõusu, mida märgitakse tähega α, loetakse kevadpunktist vastupidi kellaosuti liikumise suunale, s. o. vastupidi taeva ööpäevasele pöörlemisele. Nagu geograafilist pikkust, nii on ka otsetõusu otstarbekohane avaldada mitte kraadides, vaid ajaühikutes, arvestades sealjuures, et Maa, ja nagu meile näib, ka taevaskera teevad ühe täispöörde 24 tunniga. Siit saadakse järgmine seos ajamõõdu ja kraadimõõdu vahel:

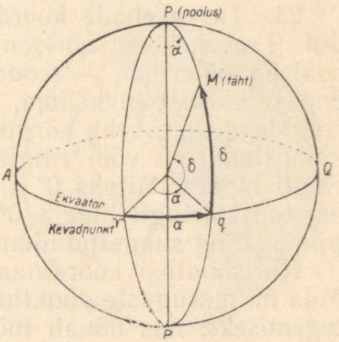
360°	vastab	24	tunnile
15°	„	1	„
1°	„	4	ajaminutile
15′	„	1	„
15″	„	1	ajasekundile

Näiteks vastab geograafiline pikkus või otsetõus 3 t. 30 min. 20 sek. nurgale 47°35′00″. On kerge mõista, et tähed kulmineerivad üksteise järel nende otsetõusude kasvu järjekorras.

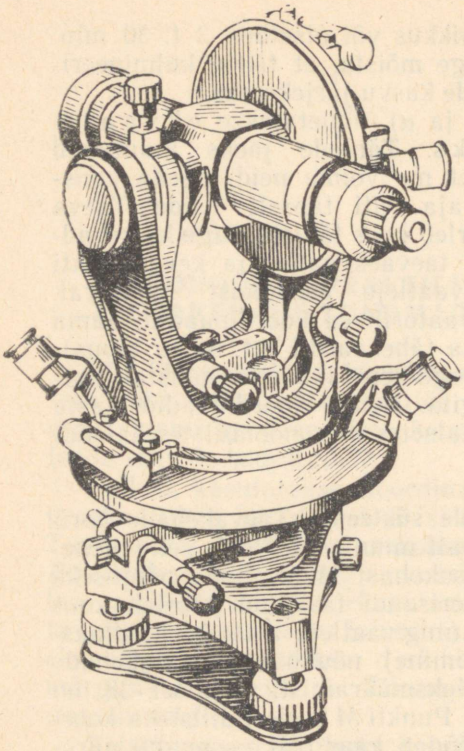
Deklinatsiooni ja otsetõusu (δ ja α) nimetatakse *ekvaatorilisteks koordinaatideks*. Tähtede jaoks muutuvad need koordinaadid nii aeglaselt, et me võime neid lugeda konstantseteks juhul, kui neid pole vaja eriti täpselt teada. Taeva ööpäevasel näival pöörlemisel pöörleb koos tähistaevaga ka kevadpunkt. Seepärast tähtede asendid taevaekvaatori ja kevadpunkti suhtes ei olene kellaajast ega vaatleja asukohast maakeral. Lisas IV on antud mõne tähe ekvaatorilised koordinaadid. Sama koordinaatide võrk on kujutatud ka tähekaardil (vt. õpiku lõpus). Päike, Kuu ja planeedid liiguvad kogu aeg tähistaeva taustal. Seepärast neid tähekaardile ei märgita. Nende koordinaadid aasta iga päeva kohta trükitakse spetsiaalsetes astronoomilistes kalendrites.

22. Horisondiliste koordinaatide süsteem. Taevakehade horisondilised koordinaadid ajas pidevalt muutuvad. Peale selle olenevad need koordinaadid vaatleja asukohast Maal. Selle põhjuseks on asjaolu, et antud maakoha horisondi tasapind pöörleb koos Maaga maailmaruumi suhtes. Aja ning vaatleja asukoha kindlaksmääramine maapinnal (orienteerumine) nõuab aga taevakehade horisondiliste koordinaatide kindlaksmääramist. Joonisel 38 on kujutatud taevaskera nähtav pool. Punkti M horisondilisteks koordinaatideks on *kõrgus* h, mida mõõdab kaar QM — punkti nurkkaugus horisondist, ja *asimuut* A, mida mõõdab kaar SQ (mõõdetakse punktist S lääne suunas). Asimuut väljendab nurka taevameridiaani tasapinna ja punkti M läbiva vertikaaltasapinna vahel.



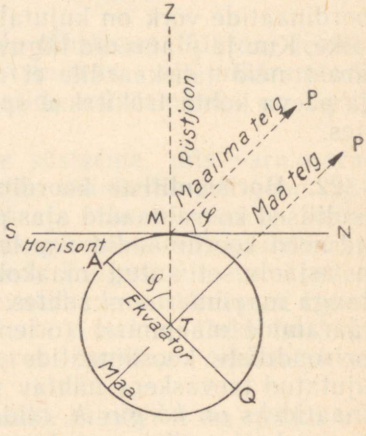


Joon. 38. Koordinaatide süsteemid.
Vasakul — horisondilised koordinaadid: h — kõrgus; A — asimuut;
paremal — ekvaatorilised koordinaadid: α — otsetõus; δ — deklinatsioon.



Joon. 39. Teodoliit — mõõteriist kõrguse ja asimuudi mõõtmiseks.

Joon. 40. Telje kalle horisondi suhtes võrdub vaatluskoha geograafilise laiusega.



Kõrguse *h* asemel kasutatakse sageli *seniitkaugust Z*, mis arvuliselt on võrdne vahega 90°—*h* ning kujutab punkti *M* nurkkaugust seniidist. Kõrgus, seniitkaugus ja asimuut väljendatakse kraadides.

23. Taevakehade koordinaatide määramise praktilised meetodid. Taevakehade horisondilisi koordinaate määratakse universaalse mõõteriista — *teodoliidi* (joon. 39) abil. Teodoliit kujutab endast väikest pikksilma, mis on varustatud kraadideks jaotatud ringidega taevakeha kõrguse ja asimuudi määramiseks. Arvutuste hõlbustamiseks võib ringide lugejad seada selliselt, et vertikaalringil lugeja näitaks 0° siis, kui pikksilm on horisontaalne, ning horisontaalringil lugeja 0° siis, kui pikksilm on meridiaani tasapinnas ning suunatud lõunapunkti.

Horisondilisi koordinaate mõõdetakse aja määramiseks või Maa mitmesuguste punktide geograafiliste koordinaatide kindlakstegemiseks, mis nõuab mõõteriista ümberasetamist ühest kohast teise. Seepärast tuleb teodoliidid teha portatiivsed.

Ekvaatorilisi koordinaate mõõdetakse palju täpsema mõõteriistaga — *meridiaanringiga*.

24. Seos pooluse kõrguse ning taeva välisilme ja koha geograafilise laiuse vahel.

1. Pooluse kõrgus ja geograafiline laius. Liikudes mööda maapinda põhjast lõunasse, paneme tähele, et Põhjanael läheneb üha rohkem horisondile. Võib tõestada, *et maailma pooluse kõrgus horisondist ehk lühemalt — pooluse kõrgus on võrdne vaatluskoha geograafilise laiusega.*

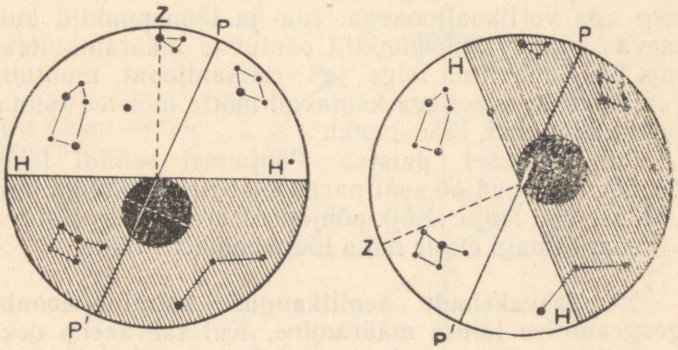
Joonisel 40 on kujutatud maakera lõige mööda vaatluskoha meridiaani. Vaatleja punktis *M* näeb maailma poolust maailma telje *MP'* suunas, maailma telg on aga paralleelne Maa teljega *TP*. Maad puudutav horisondi tasapind on meie joonisel märgitud sirgjoonega *SMN*, mis on Maad kujutava ringjoone puutujaks punktis *M*. *AQ* on Maa ekvaator, *TZ* püstjoon punktis *M*, seepärast on nurk *ATM* punkti *M* geograafiliseks laiuseks φ.

Nurk *P'MN* maailma telje ja horisondi tasapinna vahel mõõdab pooluse kõrgust. Nurgad *P'MN* ja *ATM* (s. o. geograafiline laius) on võrdsed kui ristiseisvate haaradega teravnurgad.

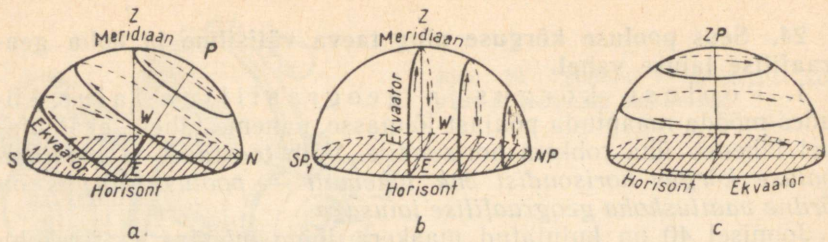
Näeme, et praktiliselt võib määrata koha geograafilist laiust, mõõtes vaatluste abil maailma pooluse kõrguse. Selleks võib mõõta Põhjanaela kõrguse kas ülemise või alumise kulminatsiooni momendil ning lisada sellele parandus, mis näitab maailma pooluse ja Põjanaela vahelist kaugust.

2. Tähistaeva välisilme olenevus vaatleja asukohast maapinnal. Nagu me eespool selgitasime, on maailma telje ja horisondi vaheline nurk (pooluse kõrgus) võrdne koha geograafilise laiusega. Seda on vaja teada antud maakoha taevaskera joonistamisel; taevaskera punktide ja joonte asukohad horisondi suhtes olenevad geograafilisest laiusest (joon. 41).

Ülalöeldu alusel on kerge kindlaks määrata järgmist.



Joon. 41. Horisondi kohal nähtavad piirkonnad sõltuvalt vaatleja asukohast: vasakul — mingis Maa põhjapoolkera punktis; paremal — mingis lõunapoolkera punktis.



Joon. 42. Tähtede ööpäevased teed horisondi suhtes vaatlejale, kes asub: *a* — keskmistel laiustel; *b* — ekvaatoril; *c* — poolusel.

Keskmistel laiustel, näiteks NSV Liidus, on maailma telg ja taevaekvaator kaldu horisondi suhtes. Seepärast on ka tähtede ööpäevased teed kaldu horisondi suhtes (joon. 42, *a*). Tähed, mis asuvad maailma poolusest mitte kaugemal kui φ kraadi (siin φ on geograafiline laius), s. o. mille deklinatsioon on suurem kui $90° - \varphi$, osutuvad mitteloojuvateks. Tähed, mis asuvad poolusest kaugemal kui φ kraadi, osutuvad tõusvateks ja loojuvateks. Lõunapoolkera tähed, mis on lõuna pool (allpool) paralleeli, mis läbib punkti *S* (joon. 42, *a*), ei tõuse kunagi, nad on laiusel φ nähtamatud.

Maa ekvaatoril on maailma telg horisondi tasapinnas ning ühtib keskpäevajoonega. Maailma poolused ühtivad siin põhja- ja lõunapunktiga (joon. 42, *b*). Taevaekvaator on risti horisondiga ning läbib seniiti *Z*. Kõikide tähtede ööpäevased teed on risti horisondiga, iga täht on poole ööpäevast horisondi all ja poole horisondi kohal. Mitteloojuvaid tähti ekvaatoril ei ole, samuti ka mittetõusvaid. Näiteks osutub seal isegi meile tuntud Suur Vanker tõusvaks ja loojuvaks tähtkujuks.

Maa poolustel langeb taevaekvaator ühte horisondiga, maailma telg aga vertikaaljoonega. Ida- ja läänepunktid kui horisondi ja taevaekvaatori lõikepunktid osutuvad määramatuteks. Meridiaan, mis läbib maailma telge ja vertikaaljoont, muutub samuti määramatuks, koos sellega kaotavad mõtte mõisted lõunapunkt, põhjapunkt, idapunkt, läänepunkt.

Põhjapoolusel paistab Põhjanael seniidi lähedal. Tähtede ööpäevased teed on seal paralleelsed horisondiga, mitte ükski täht ei tõuse ega looju. Kõik põhjapoolkera tähed paistavad mitteloojuvatena. Kunagi ei ole näha lõunapoolkera tähti.

25. Taevakehade seniitkaugus kulminatsioonimomendil ja geograafilise laiuse määramine. Kui taevakeha deklinatsioon on teada, siis võib taevakeha seniitkauguse kulminatsioonimomendil leida järgmisel viisil. Joonisel 43 on kujutatud taevaskera. Asugu taevakeha kulminatsioonimomendil punktis *M*. Sel juhul kaar

QM kujutab taevakeha deklinatsiooni δ, sest AQ on maailma teljega PP' risti olev taevaekvaator. Kaar QZ on võrdne kaarega NP ning maakoha geograafilise laiusega φ. Ilmneb, et kaarega ZM määratud seniitkaugus $Z = \varphi - \delta$.

Kui taevakeha kulmineerib põhja pool seniiti Z (s. o. punkt M jääb punktide Z ja P vahele), siis $Z = \delta - \varphi$.

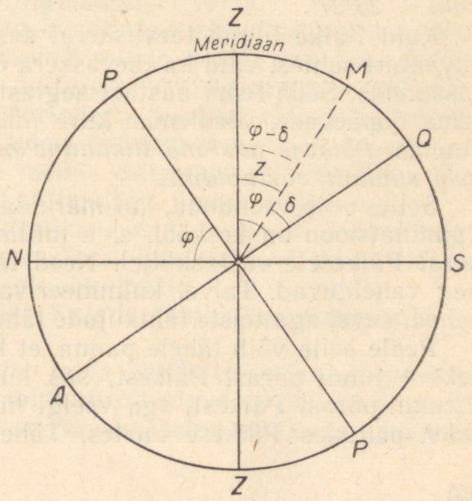
Need kaks valemit võimaldavad ette kindlaks määrata tuntud deklinatsiooniga taevakehade seniitkaugused kulminatsioonimomendil, kui maakoha geograafiline laius φ on teada.

Antud paragrahvis tehtud arvestus on lihtne näide taevanähtuste ettearvestamise kohta, mille täpsuse poolest astronoomia on kuulus.

Harjutus 5.

1. Ühe tähe otsetõus on 3 tundi, teisel 5 t. 18 min. Mitu tundi ja minutit pärast ühe tähe kulminatsiooni toimub teise tähe kulminatsioon?
2. Maakoha geograafiline laius on 35°. Mitu kraadi on poolus seal allpool seniiti?
3. Maakoha geograafiline laius on 57°. Kui kaugel seniidist lõikub meridiaan ekvaatoriga? Kui suur on ekvaatori kõrgeima punkti kaugus horisondist?
4. Murmanski geograafiline laius on 69°. Kas on seal horisondi peal näha Siirius (kõige heledam täht taevas), kui ta deklinatsioon $\delta = -16°$?
5. Leningradi geograafiline laius on 60°. Kas võib seal näha Veega mõlemat kulminatsiooni, kui tema deklinatsioon on $+39°$?

26. Päikese näiv liikumine mööda ekliptikat. 1. Päikese keskpäevase kõrguse ja tähistaeva välisilme aastased muutused. Igaühele on hästi teada, et Päikese kõrgus horisondi suhtes keskpäeval, s. o. tema kõrgus ülemise kulminatsiooni momendil, aasta jooksul muutub. Suvel tõuseb Päike keskpäeval väga kõrgele; kõige kõrgem asend on tal 22. juunil. Seda päeva nimetatakse suviseks pööripäevaks. Igal



Joon. 43. Taevakeha kõrgus ülemise kulminatsiooni momendil.

järgmisel päeval kulmineerib Päike ikka madalamal ja madalamal. Tema kõige madalam kulminatsioon toimub 22. detsembril, see on talvisel pööripäeval. Vastavalt sellele on 22. detsembril päev kõige lühem, sest sel päeval on Päikese tee horisondi kohal kõige lühem; ta tõuseb hilja ja loojub vara.

21. märtsi ja 23. septembri paiku on Päikese ülemise kulminatsiooni kõrgus suvise ja talvise pööripäeva kõrguste vahepealne ning päev on ööga võrdne. Seepärast nimetatakse 21. märtsi kevadiseks pööripäevaks ehk kevadiseks võrdpäevsuseks, 23. septembrit aga — sügiseseks pööripäevaks ehk sügiseseks võrdpäevsuseks.

Kui Päikese kulminatsiooni kõrgus muutub, muutub järelikult ka tema asend taevaskeral maailma pooluse ja taevaekvaatori suhtes. Tõepoolest, tähed, mille asend maailma pooluse ja taevaekvaatori suhtes on muutumatu, kulmineerivad igaüks alati ühel ning samal kindlal kõrgusel horisondist. Samal põhjusel iga täht tõuseb ja loojub kindlas, alati ühes ja samas horisondi punktis. Seejuures loojub aga Päike näiteks suvel loodes, talvel edelas, võrdpäevsuse ajal aga läänes.

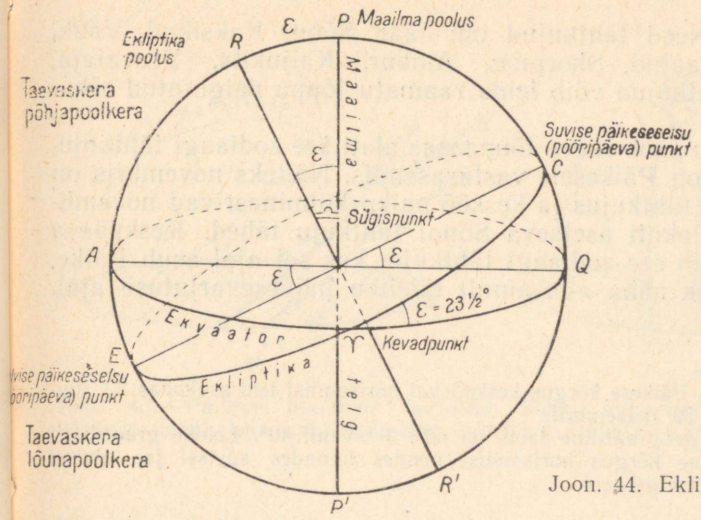
Võrdpäevsuse ajal asub Päike taevaekvaatoril. See nähtub ka sellest, et neil päevadel Päike tõuseb idapunktis ja loojub läänepunktis, neis punktides aga taevaekvaator lõikub horisondiga.

Kuna suvel Päikese kõrgus keskpäeval on suurem kui $90° - \varphi$, s. o. ületab taevaekvaatori kõrguse horisondi suhtes, siis tähendab see, et Päike on sel ajal ekvaatorist kõrgemal (taeva põhjapoolkeral). Just samal viisil võib veenduda selles, et talvel asub Päike taeva lõunapoolkeral (ekvaatori all). Nurgamõõtmise riistaga Päikese keskpäevaseid kõrgusi mõõtes näeme, et Päikese suurim kaugus ekvaatorist põhja poole on 23°27′ (22. juunil). Niisama suur on tema suurim kaugus ekvaatorist lõuna poole (22. detsembril). Teisiti öeldes — *Päikese deklinatsioon muutub vähemikus +23°27′ kuni — 23°27′.*

Kuid Päike liigub taevaskeral aasta jooksul mitte üksi taevaekvaatori suhtes, vaid ka taevaskera ööpäevasele pöörlemisele vastassuunas. Seda tema aastast aeglast liikumist ei tohi ära segada tema ööpäevase, võrdlemisi kiire liikumisega kellaosuti liikumise suunas. *Päikese aastane liikumine on tema ööpäevasele liikumisele suunalt vastupidine.*

Selles võib veenduda, kui märkida ära, milliste tähtede ülemine kulminatsioon on kesköö1, s. t. millised tähtkujud asuvad taevaskeral Päikesele vastasküljel. Need tähtkujud aasta jooksul kogu aeg vahelduvad. Talvel kulmineerivad kesköö1 ühtede tähtkujude tähed, suvel aga teiste tähtkujude tähed.

Peale selle võib tähele panna, et kui mõni tähtkuju loojub näiteks 4 tundi pärast Päikest, siis kuu aja pärast ta loojub juba 2 tundi pärast Päikest, aga veelgi hiljem muutub üldse nähtamatuks, peitudes Päikese kiirtes. Tähendab, selle aja kestel Päike



Joon. 44. Ekliptika ja ekvaator.

nihkus taevaskeral läänest itta, vastupidi kellaosuti liikumisele. Mõni aeg hiljem tuleb nimetatud tähtkuju nähtavale horisondi tagant ikka varem ja varem enne päikesetõusu.

2. Ekliptika ja zodiaak. Võttes kokku kõik eespool kirjeldatud vaatlused, tuleme järeldusele, et aasta jooksul liigub Päike taevaskeral mööda suurt ringi, mille tasapind on taevaekvaatori tasapinnaga nurga all 23°27′.

Ekliptikaks nimetatakse suurringi taevaskeral, mida mööda aasta jooksul liigub Päikese keskpunkt (joon. 44). Aastaga teeb Päike täisringi mööda ekliptikat, liikudes sealjuures vastupidi kellaosuti liikumise suunale. Ööpäevaga nihkub Päike mööda ekliptikat ida poole 360 : 365, s. o. ligikaudu 1° võrra.

Ekliptika lõikepunkte taevaekvaatoriga nimetatakse kevad- ja sügispunktideks, vastavalt sellele, millal neis asub Päike. Kevadpunkti tähistatakse märgiga ♈, sügispunkti aga märgiga ♎. Suvise ja talvise pööripäeva punktid ekliptikal on 90° kaugusel kevad- ja sügispunktidest ja kõige kaugemal ekvaatorist.

Päikese aastane liikumine mööda ekliptikat on näiv liikumine. Ta on tingitud Maa aastasest tiirlemisest ümber Päikese.

Taevaskera pöörlemisel ekliptika asend horisondi suhtes kogu aeg muutub ja seepärast taevaskera joonisel koos horisondi ja meridiaaniga ekliptikat harilikult ei kujutata.

Praegusajal on kevadpunkt Kalade tähtkujus, sügispunkt — Neitsi tähtkujus.

Kaksteistkümmend tähtkuju, mida läbib ekliptika, moodustavad zodiaagi vöö, neid tähtkujusid nimetatakse zodiaagi tähtkujudeks. (*Zodiaak* on kreekakeelne sõna ja tähendab

«loomaring».) Need tähtkujud on: Jäär, Sõnn, Kaksikud, Vähk, Lõvi, Neitsi, Kaalud, Skorpion, Ambur, Kaljukits, Veevalaja, Kalad. Need tähtkujud võib leida raamatu lõppu paigutatud tähekaardilt.

Kesköö paiku asub taeva lõunaosas alati see zodiaagi tähtkuju, mis antud kuul on Päikesele vastasasendis. Näiteks novembris on Päike Skorpioni tähtkujus ja kesköö paiku kulmineerivad novembris temaga vastakuti asetseva Sõnni tähtkuju tähed. Keskpäeva paiku kulmineerib see zodiaagi tähtkuju, kus sel ajal asub Päike, seda on võimalik näha aga ainult täieliku päikesevarjutuse ajal.

Harjutus 6.

1. Kui suur on Päikese kõrgus keskpäeval horisondist teie asukohas 22. juunil? 23. septembril? 22. detsembril?
2. Leningradi geograafiline laius on 60°, Jerevanil 40°. Leidke graafiliselt Päikese keskpäevane kõrgus horisondist nendes linnades suvisel ja talvisel pööripäeval ning võrrelge neid.

27. Päikese ööpäevase tee muutumine horisondi kohal erinevatel laiustel. Kuidas muutub Päikese ööpäevane tee horisondi suhtes meie laiustel kevadest suveni ja talveni, sellest räägiti juba punktis 26.

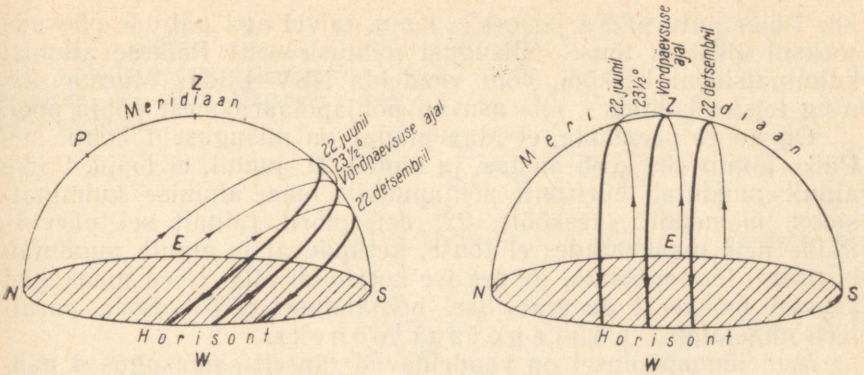
Seda, kuidas näib muutuvat Päikese ööpäevane tee horisondi suhtes aasta vältel maakera mitmesugustel laiustel, võib selgitada joon. 43 abil. Punktis *A* kulmineerib Päike võrdpäevsuse päevadel, sest nendel päevadel asub Päike taevaekvaatoril. Suvisel pööripäeval kulmineerib Päike $23^1/_2°$ kõrgemal, talvisel pööripäeval aga $23^1/_2°$ madalamal (täiendage joonist Päikese ööpäevase teekonnaga suvisel ja talvisel pööripäeval). Päikese ööpäevane tee keskmistel laiustel on kujutatud joonisel 45 (vasakul).

Määrame nüüd kindlaks, missuguse nurga φ väärtuse korral, s. o. missugusel geograafilisel laiusel, võib Päikese ülemine kulminatsioon toimuda seniidis. Jooniselt 43 selgub, et see on võimalik laiustel $+23^1/_2°$ kuni $-23^1/_2°$ nendel päevadel, mil Päikese deklinatsioon on võrdne maakoha geograafilise laiusega (nurkkaugusega taevaekvaatori punkti *A* ja seniidi vahel).

Pärast täpset vaatlust me veendume järgmises.

Maa ekvaatoril tõuseb ja loojub Päike, nagu kõik teised taevakehad, risti horisondiga (joon. 45). Seepärast on seal aasta ringi päev ja öö ühepikkused (horisont jagab seal Päikese ööpäevase tee pooleks), hämarik on aga väga lühike. Päike kaob kiiresti horisondi taha. Keskpäeval on Päike seniidis kaks korda aastas, võrdpäevsuse päevadel (kevadisel ja sügisesel pööripäeval), mil Päikese deklinatsioon on 0°.

Maapinnal on kohti, kus Päike on keskpäeval seniidis ainult üks kord aastas. See toimub 22. juunil geograafilisel põhjalaiusel 23°27′. Seda paralleeli nimetatakse Vähja pöörijooneks.



Joon. 45. Päikese liikumine horisondi kohal mitmesugustel aastaaegadel: vaatleja puhul, kes asub keskmistel laiustel (vasakul) ja ekvaatoril (paremal).

22. detsembri keskpäeval on Päike seniidis neis kohtades, mis asuvad lõunalaiusel 23°27′. Seda paralleeli nimetatakse Kaljukitse pöörijooneks.

Oma nimetused said need geograafilised paralleelid kauges minevikus seoses sellega, et Päikese kulminatsioon seniidis toimus pöörijoontel ajal, mil Päike asus Vähja ja Kaljukitse tähtkujus; nendes tähtkujudes asusid sel ajal suvise ja talvise pööripäeva (päikeseseisu) punktid. Sellest ajast möödunud mitme tuhande aasta jooksul nihkusid need punktid Kaksikute ja Amburi tähtkujusse.

Pöörijoonteks nimetatakse neid seepärast, et nendel toimub Päikese tagasipöördumine taevaekvaatori poole.

Maa poolustel kirjeldab Päike iga päev horisondiga paralleelseid ringe seni, kuni ta asetseb horisondi kohal, mis siin ühtib taevaekvaatoriga. Nagu me juba teame, kestab Päikese ülalnimetatud liikumine pool aastat, põhjapoolusel 21. märtsist 23. septembrini. Et 21. märtsist 22. juunini Päikese kõrgus taevaekvaatorist pidevalt kasvab Päikese liikudes taevaskera lõunapoolkeralt põhjapoolkerale, siis tuleme järgmisele järeldusele.

Maa põhjapoolusel tõuseb Päike üks kord aastas — 21. märtsil, ja poole aasta kestel mitte loojudes teeb iga päev täisringi horisondi kohal ning jõuab kõige suuremale kõrgusele 22. juunil. Mõnikord räägitakse, et Päike kujutab taevas spiraali keerde. 22. juunist kuni 23. septembrini langeb Päike mööda samasugust spiraali ikka lähemale horisondile ja 23. septembril vajub horisondi taha. Öö kestab poolusel pool aastat, samuti päev (polaaröö ja -päev).

Kaugenemisel põhjapoolusest on aastas ikka rohkem ja rohkem päevi, mil Päike tõuseb ja loojub, suvel aga esineb siiski periood,

kus Päike mitu päeva järjest ei looju, talvel aga paljude päevade jooksul üldse ei tõuse. Niisugust nähtust, eriti Päikese alumist kulminatsiooni kesköö1, võib vaadelda NSV Liidus Murmanskis ning teistes kohtades, mis asuvad põhjapolaarjoonest põhja pool.

On kerge veenduda, et Maa pinnal on niisuguseid kohti, kus Päike ainult üks kord aastas, ja nimelt 22. juunil, ei looju. Päike ainult puudutab horisonti põhjapunktis oma alumise kulminatsiooni momendil (kesköö1). 22. detsembril (ainult sel päeval) Päike neis maakohtades ei tõuse, keskpäeval ta ainult puudutab horisonti lõunapunktis, jäädes ise horisondi alla. Need maakohad asuvad maakeral geograafilisel põhjalaiusel 66°33′. Seda paralleeli nimetatakse p õ h j a p o l a a r j o o n e k s.

Maa lõunapoolusel on vaadeldavad täpselt samasugused nähtused nagu põhjapooluselgi, ainult polaarpäev kestab seal 23. septembrist 21. märtsini ning polaaröö 21. märtsist 23. septembrini. L õ u n a p o l a a r j o o n e l (lõunalaiusel 66°33′) ei tõuse Päike 22. juunil ega looju 22. detsembril.

Maakohtades, mis asuvad veidi lõuna pool põhjapolaarjoont, näiteks Leningradis, langeb Päike 22. juuni paiku horisondi alla, kuid mitte kauaks ja mitte sügavale. Seepärast valgustavad tema horisondi alt tulevad kiired tugevasti õhku («valged ööd»).

Kõigest eespool öeldust on selge (ja seda tuleb kindlalt meeles pidada), et Päikese tõusu ja loojangu aeg sõltub mitte ainult kuupäevast, vaid ka vaatleja asukoha geograafilisest laiusest. Seepärast võib tavalistes kalendrites antud Päikese tõusu ja loojumise aeg õige olla ainult ühel geograafilisel laiusel, mitte aga kogu NSV Liidus.

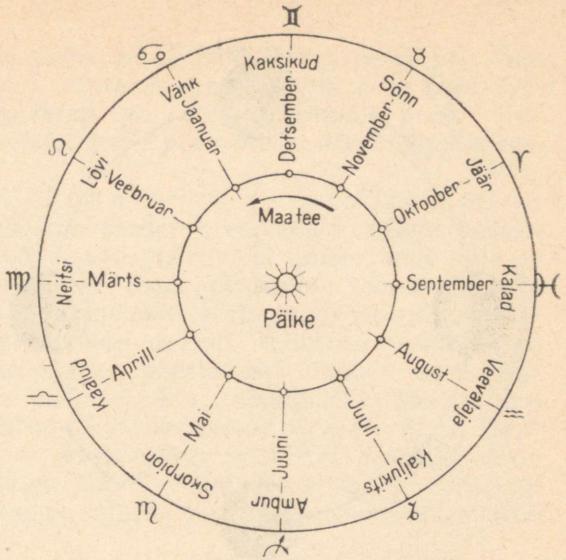
28. Maa tiirlemine ümber Päikese ja sellest tulenevad nähtused. Päikese näiv aastane liikumine mööda ekliptikat ja kõik sellega seotud nähtused, mida on kirjeldatud selle peatüki eelmistes osades, on tegelikult selle tagajärg, et Maa liigub ümber Päikese. Täisringi teeb Maa ühe aastaga.

Maa liikumise teed ümber Päikese nimetatakse tema orbiidiks.

Maa ööpäevase pöörlemise telg on ekliptika tasapinnaga nurga all 66°33′, Maa ekvaatori tasapinna ja ekliptika tasapinna vaheline nurk on aga 90°—66°33′ = 23°27′. Maa ööpäevase pöörlemise telg jääb seejuures iseendaga rööpseks ja ei muuda oma kallakut Maa orbiidi tasapinna suhtes.

Kuna meie ei taju oma liikumist koos Maaga, näib meile, et me koos Maaga püsime paigal, Päike aga liigub mööda ekliptikat. Niisiis *Päikese liikumine mööda ekliptikat on Maa liikumise vastupeegeldus.* Seda võime endile selgitada, vaadeldes joonist 46, millel on skemaatiliselt kujutatud Maa liikumine.

On teada, et Päikese kõrgusest horisondi suhtes sõltub soojuse hulk, mis langeb antud pinnale. Mida kõrgemale horisondi kohale Päike tõuseb, seda tugevamini ta soojendab. Päikese mitmesuguse



Joon. 46. Päikese liikumine mööda ekliptikat läbi zodiaagi tähtkujude on Maa liikumise vastupeegeldus.

kõrgusega maakera erinevais kohtades seletubki erinevate soojusvöötmete (palav-, paras- ja polaarvöötmed) olemasolu maakeral. Ühenduses sellega on igal aastal külmad ja soojad aastaajad, mis järjest vahelduvad üksteisega. Seda loodusnähtust nimetatakse aastaaegade vaheldumiseks.

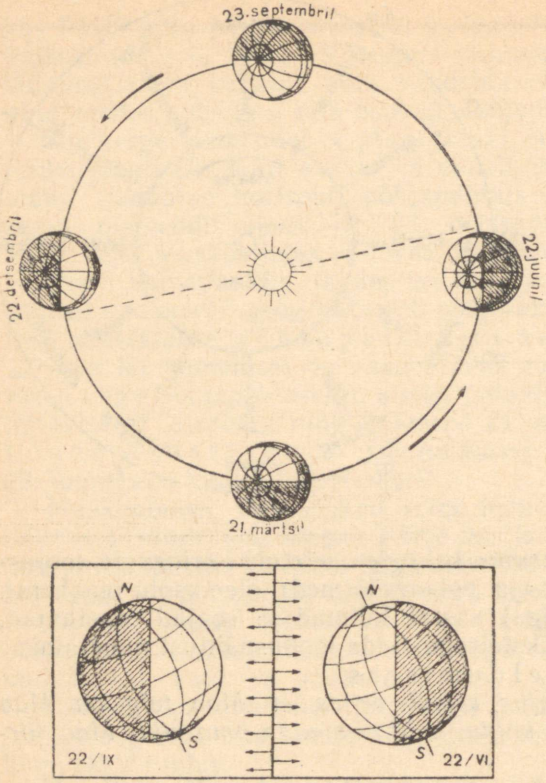
Nende muutuste põhjus seisab selles, et Maa telg on Maa orbiidi tasapinna suhtes kaldu, kuid ei muuda oma sihti Maa tiirlemisel ümber Päikese.

Vaatleme joonist 47. Joonise paremal poolel on Maa telje põhjapoolne ots suunatud Päikese poole. See Maa asend vastab kesksuvele Maa põhjapoolkeral ja talvele lõunapoolkeral. Päikese kiired langevad põhjapoolkerale väiksema langemisnurga all ja seetõttu soojendavad Maad tugevamini, samuti nagu päeval nad soojendavad maapinda tugevamini kui hommikul, mil Päikese kiired langevad suurema nurga all.

Sellises asendis on põhjapolaarpiirkonnad palju päevi järjest valgustatud loojumata Päikese poolt. Lõunapolaarpiirkonnad jäävad samal ajal paljude ööpäevade jooksul ilma Päikese valguseta. Seal on pikk polaaröö.

Keskmistel põhjalaiustel käib Maa pinna iga punkt ööpäevasel pöörlemisel suurema osa oma teest Päikese kiirte all, s. o. päev on pikem ööst. Maa lõunapoolkeral aga on pilt vastupidine: Päikese kiired langevad temale viltu, suure langemisnurga all; seal on päevad lühikesed, ööd aga pikad (talv).

Suvel on nurk Päikese vaatesuuna ja ekvaatori tasapinna vahel kõige suurem 23°27′. Päikese keskpäevane kõrgus on suvel suurim, näiteks Moskvas ulatub ta peaaegu 58°-ni (23°27′ + + 90° —55°45′, kus 55°45′ on Moskva geograafiline laius).



Joon 47. Aastaaegade vaheldumise skeem.

Vasakul on kujutatud Maa põhjapoolkera asend talvise pööripäeva ajal. Selles asendis võib Maa põhjapoolkera kohta öelda kõike seda, mida me eespool kõnelesime Maa lõunapoolkera kohta, ja ümberpöördult.

Maa asend kevadisel pööripäeval on kujutatud joonisel orbiidi alumises osas. Maa sellises asendis langevad Päikese kiired ekvaatoril risti horisondiga; Päike liigub mööda taevaekvaatorit. Maa mõlema poolkera keskmistel laiustel langevad Päikese kiired nurga all, mis on nende suvise ja talvise perioodi langemisnurkade vahepealne. Maa mõlemal poolusel paistab Päike horisondi tasapinnas, sest see tasapind on maakeral puutetasapinnaks ja pooluste puhul rööpne ekvaatori tasapinnaga.

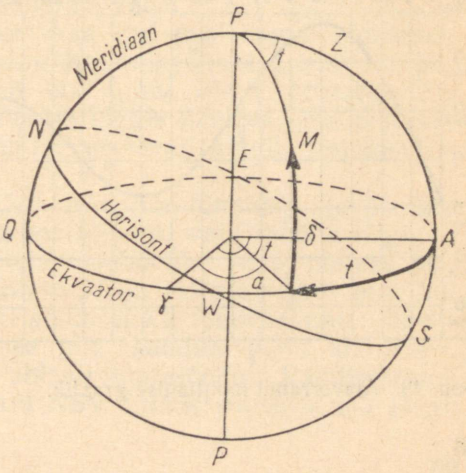
Päike pole Maale nii lähedal, nagu see on näidatud joonisel, vaid väga kaugel. Seepärast langevad tema kiired Maa pinnale peaaegu rööbiti üksteisega. Järelikult Päike, olles kevadisel pööripäeval taevaekvaatoril, on horisondi tasapinnas neile vaatlejaile, kes asuvad Maa poolustel. Samasugune on Maa asend Päikese kiirte suhtes ka sügisesel pööripäeval.

Kevadisel ja sügisesel pööripäeval läbib päeva ja öö piir Maa mõlemaid pooluseid ja Maa mistahes punkt liigub Maa pöörlemisel ümber telje nii valgustatud kui ka valgustamata poolel ühepikkused teed, s. o. kogu Maal peab päev olema ööga ühepikkune.

29. Aja mõõtmine. 1. Tunninurk ja aja mõõtmine. Aja mõõtmiseks kasutame me looduses esinevaid rangelt perioodilisi liikumisi — Maa ööpäevast pöörlemist ümber oma telje ja aastast tiirlemist ümber Päikese. Maa pöörlemine selgub vaatleja meridiaani suhtes pidevalt toimuvast taevakehade asendi muutumisest. Seega saab taevakehade asendi muutuse mõõtmisega kindlaks teha Maa pöördenurga pöörlemisel ümber oma telje, selle järgi aga ööpäeva pikkuse. Aja mõõtmiseks kasutatakse tunninurga mõistet. Joonisel 48 on kujutatud ekvaatorilised koordinaadid ja tunninurk t — nurk mingi punkti M deklinatsiooniringi ja vaatleja meridiaani $NPZS$ tasapindade vahel. Erinevalt nurgast α muutub tunninurga suurus taevaskera pöörlemise tõttu pidevalt ja ühtlaselt.

Kaart Aq, mida loetakse vaatleja meridiaani lõunapoolsest osast kellaosuti liikumise suunas kuni punkti M deklinatsiooniringini, nimetatakse antud punkti tunninurgaks. Tunninurka t mõõdetakse ajaühikutes.

Tunninurga mõiste võimaldab täpsemalt sõnastada aja mõõtmise mooduse: *tõelist päikeseaega (mida loetakse keskpäevast alates) mõõdab Päikese tunninurk.* Selliselt määratud aega nimetatakse ka kohalikuks ajaks, sest Päikese tunninurk on erinevatel meridiaanidel ühel ja samal ajamomendil erinev. Kui Päike on näiteks antud maakohas meridiaanil (ja seal on seega tõeline kohalik keskpäev), siis lääne pool asuva maakoha meridiaanile pole Päike veel jõudnud, keskpäev ei ole seal veel saabunud. Päikese tunninurga muutumine mõõdab möödunud ajaintervalli pikkust.



Joon. 48. Tunninurk.

2. Tõeline päikeseööpäev. Inimeste tööaja jaotamine on seotud päeva ja öö vaheldumisega ning seepärast määratakse aega harilikult Päikese asukoha järgi taevas.

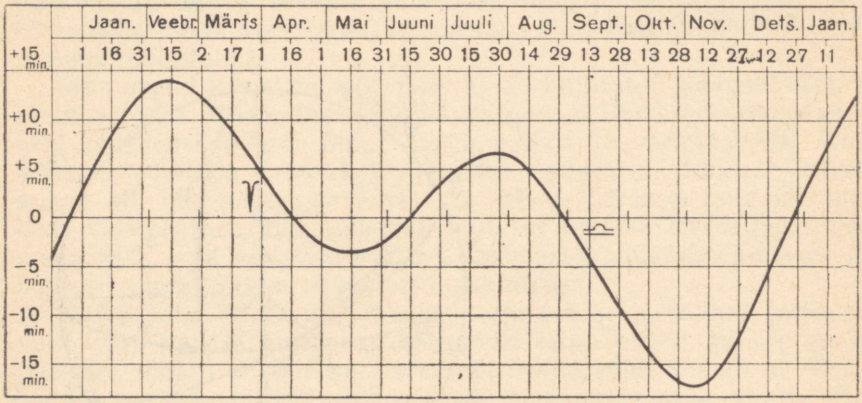
Tõeliseks keskpäevaks nimetatakse päikeseketta keskpunkti ülemise kulminatsiooni momenti. *Tõeliseks päikeseööpäevaks nimetatakse ajavahemikku Päikese nähtava ketta keskpunkti kahe teineteisele järgneva alumise kulminatsiooni vahel.*

Maa ebaühtlase liikumise tõttu mööda orbiiti ja Maa ekvaatori kalde tõttu oma orbiidi suhtes muutub tõeliste päikeseööpäevade kestus aasta jooksul. See muutumine on väga keeruka iseloomuga.

Tõelist päikeseaega võib näidata ainult päikesekell. Ta näitab aega Päikese asendi järgi taevas. Kell kujutab endast varba või kolmnurka, mille vari, mis täidab kella osuti ülesannet, nihkub mööda lauda, mis on numbrilauaks. Lauale on joonestatud sirged, mida mööda varva vari langeb teatud kellaaegadel. Sirgete kõrvale on kirjutatud vastavad kellaajad. Päikesekellasid on mitut tüüpi, kuid nende varb peab alati olema suunatud maailma pooluse poole.

3. Keskmine päikeseööpäev. Ajavõrrand. Tõeliste päikeseööpäevade mittevõrdsus aasta erinevail aegadel segab tõelise päikeseaja kasutamist. Seepärast kasutatakse praktikas nn. keskmist päikeseaega, mis kulgeb täiesti ühtlaselt. Keskmise päikeseaja põhiühikuks on keskmine ööpäev. *Keskmine ööpäev on tõeliste ööpäevade keskmine väärtus.*

Keskmise päikeseaja ja tõelise päikeseaja vahet nimetatakse ajavõrrandiks. Teisiti öeldes — ajavõrrand on selline algebraline suurus, mis tuleb liita (kas märgiga «pluss» või «miinus») tõelisele päikeseajale selleks, et saada keskmist päikeseaega. Ajavõr-



Joon. 49. Ajavõrrandi muutumise graafik.

randi muutumine on näidatud joonisel 49. Ajavõrrandi suurimaks väärtuseks on 16'30" (märgiga «miinus» umbes 3. nov. paiku).

Tõelist päikeseaega näitavate päikesekellade näitude ümberarvutamiseks keskmiseks päikeseajaks tuleb kella näidule liita aasta antud päeva jaoks kehtiv ajavõrrandi väärtus (koos tema märgiga). Ajavõrrandi väärtust iga päeva jaoks on kerge leida joonisel 49 toodud graafikult. Ajavõrrandite tabelid tuuakse ära kõikides astronoomilistes kalendrites ja käsiraamatutes.

30. Aja mõõtmise süsteemid. 1. K o h a l i k, v ö ö n d i- j a d e k r e e d i a e g. Kui kasutada eespool kirjeldatud kohalikku ajaarvestust, siis kohtades, mis pisutki erinevad pikkuselt, tuleb aega lugeda juba erinevaks. See tekitab palju ebamugavusi.

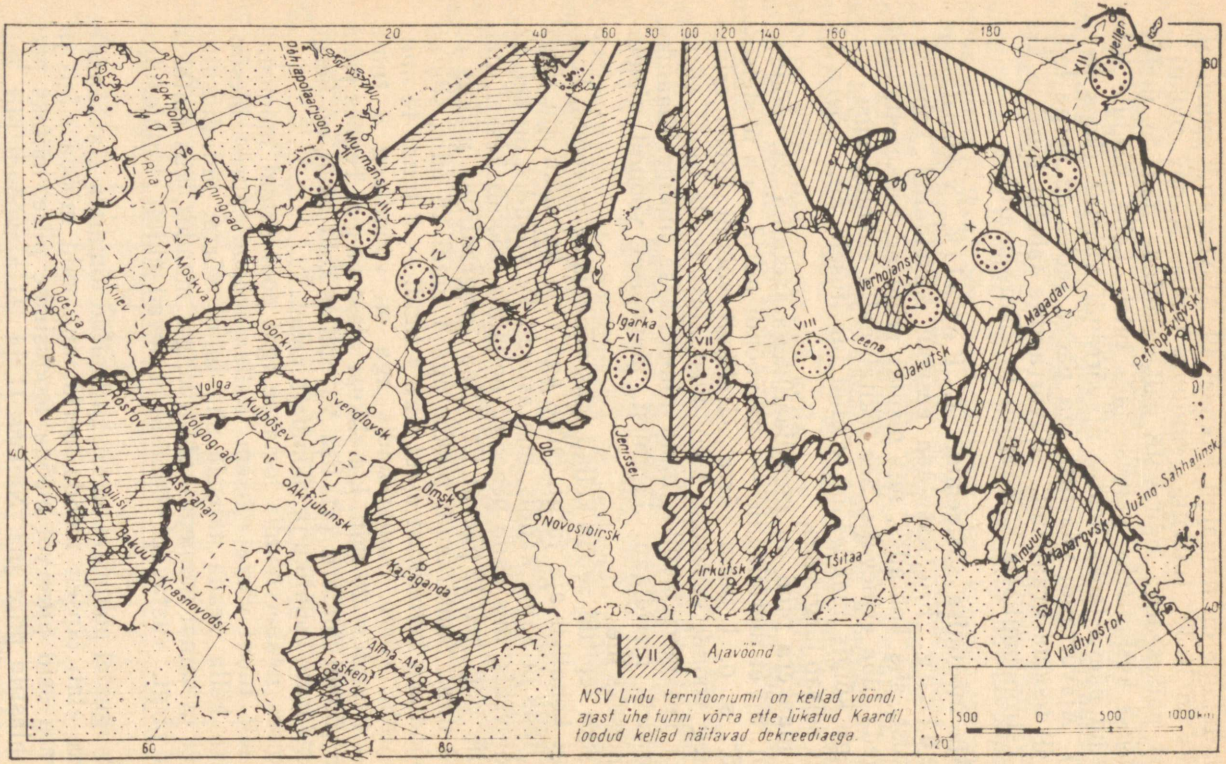
Peaaegu kõigis maades on võetud tarvitusele nn. v ö ö n d i a e g, mis seisab järgmises.

Kogu maakera pind on meridiaanidega jaotatud 24 vööndiks (joon. 50), nii et meridiaanid — iga vööndi piirid — on üksteisest eemal 15°, s. o. 1 tunni võrra. Järelikult vööndi äärtel erineb kohalik aeg vööndi keskkoha kohalikust ajast poole tunni võrra. Algvööndi keskmeridiaaniks, mida nimetatakse nullmeridiaaniks, on Greenwichi meridiaan. Järgmist, idapoolset vööndit nimetatakse esimeseks jne.

On kokku lepitud seada kellad igas vööndis selle vööndi keskmeridiaani kohaliku aja järgi, mitte aga oma kohaliku aja järgi. Näiteks Ufaas ja Samarkandis, mis asuvad IV vööndis, on kell 12, kui Sverdlovskis, mis asub peaaegu neljanda vööndi keskel, näitab kohalik aeg kell 12 päeval. Et Ufaa geograafiline pikkus on 3 tundi 44 min., Samarkandi pikkus aga 4 tundi 28 min., siis on Ufaas vööndiaeg kohalikust ajast e e s 4 tundi — 3 tundi 44 min., s. o. 16 min. võrra, Samarkandis aga on vööndiaeg 4 tundi 28 min. — 4 tundi = 28 min. kohalikust ajast t a g a. Teades koha pikkust ja vööndi numbrit (vt. lisa V), milles koht asub, on kerge kindlaks määrata kohaliku ja vööndiaja vahet.

Idapoolses naabervööndis loetakse igal pool samal momendil aega täpselt tunni võrra rohkem. Kellaajavööndi piirist ülesõitmisel tuleb kella seada täpselt ühe tunni võrra. Minutiosutite asend ühel ja samal momendil ühtib kõigis maades, kus elatakse vööndiaja järgi; vastavalt vööndile erinevad ainult tunniosutite asendid.

Mitmesugustel põhjustel on kokku lepitud tõmmata ajavööndite piirid mitte alati täpselt mööda meridiaani, vaid mööda riigi- ja administratiivseid piire või mööda looduslikke piire, näiteks piki jõgesid, oblastite piire jne. Näiteks II ja III ajavööndi piir, kui teda tõmmata mööda meridiaani pikkusega 2 tundi 30 min., läheks just läbi Moskva. Seepärast see piir taandub pisut ida poole, haarates II vööndisse Moskva oblasti idarajoonid. Raudteetranspordis antakse kõik sõiduplaanid NSV Liidus Moskva aja järgi.



Joon. 50. Kellaajavööndid NSV Liidus.

Elektrienergia ja selle tootmiseks ning valgustuse otstarbeks kulutatava kütte ratsionaalsemaks kasutamiseks lükati NSV Liidus RKN-i dekreediga 16. juunist 1930 kogu maal kella tunniosutid ühe tunni võrra ette. Sel teel saadud aega nimetatakse dekreediajaks.

Niisiis dekreediaeg on vööndiaeg pluss üks tund. Mõnedes NSV Liidu piirkondades esineb kõrvalekaldumisi sellest üldkehtestatud korrast.

2. Kuupäevaraja. On tarvis kokku leppida, missugusest meridiaanist alustada uue päeva arvestamist, näiteks kust alustada maakeral 1. jaanuari lugemist.

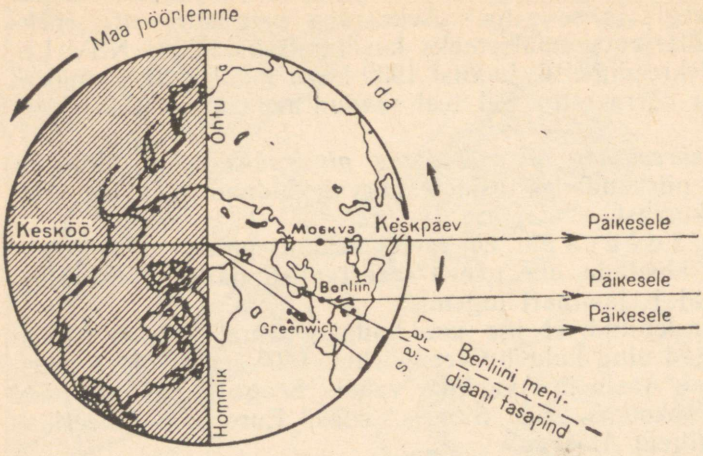
On kokku lepitud, et iga uus kuupäev algab joonel, mis ei lõika maismaad ning kulgeb Greenwichist 180° eemal oleva meridiaani lähedal, Aasia ja Ameerika vahel. Seega algab uus päev kõigepealt Tšukotkas, siis Siberis, edasi Euroopas, Ameerikas ning kõige hiljem Alaskas.

Laeval, mis sõidab üle kuupäevaraja ida suunas, tuleb üks ja sama kuupäev anda kahele teineteisele järgnevale päevale. Kui näiteks kuupäevarajast sõideti üle reedel, 13. aprillil, siis on järgmine päev samuti reede ja 13. aprill. Kuupäevaraja ületamisel lääne suunas tuleb laeval üks päev vahele jätta. Näiteks laupäevale 15. maile (ülesõidupäev) järgneb esmaspäev 17. mai. Kui nii toiminud laevad jõuavad sadamatesse, siis ühtib nende ajaarvestus sadamates kasutusel oleva arvestusega.

3. Õige aja teenistus. Mõned tootmise ja transpordi liigid nõuavad aja teadmist täpsusega kuni sekundini, sageli isegi sekundi sajandikeni. Näiteks kasulike maavarade avastamine raskusjõu mõõtmise abil Maa eri kohtades, geograafiliste kaartide koostamine, laevade juhtimine avamerel jne. nõuavad kõige täpsemat kellade kontrollimist ja seejuures mitu korda ööpäevas, sest et mistahes kell võib kas või natukegi minna ette või jääda taha. Selleks otstarbeks on nii NSV Liidus kui ka rahvusvahelises ulatuses organiseeritud «õige aja teenistus». Tema ülesandeks on õige aja määramine, säilitamine ja edasiandmine.

Õiget aega määratakse astronoomilistes observatooriumides vaatluste teel, näiteks tähtede kulminatsioonimomentide vaatlemise teel. Päikese asend taevaskeral asuvate tähtede suhtes on alati täpselt teada, seepärast võib tähtede kulminatsioonimomentidelt üle minna Päikese tunninurgale. (Aja kindlaksmääramine Päikese enda vaatlemise teel on vähem täpne, päikesekellade ebatäpsusest aga pole mõtet isegi kõnelda.)

Õige aja teenistus seisneb observatooriumide ühtede ja samade (pea-)kellade võimalikult täpses kontrollimises ning kellade töötamise tundmaõppimises (kui palju need kellad ööpäevas ette käivad või maha jäävad) ja loomulikult ka õige aja edasiandmises.



Joon. 51. Kahe koha geograafiliste pikkuste vahe on võrdne nende maakohtade kohalike aegade vahega.

Viimasel ajal on harilike astronoomiliste täpsuskellade kõrval hakatud kasutama nõndanimetatud kvartskelli, mille kvartsikristallides toimuvad jääva sagedusega võnkumised. Veel kaasaegsemad ning täpsemad on molekulaarkellad.

31. Geograafilise pikkuse määramine. Geograafilise pikkuse määramine põhineb antud maakoha kohaliku aja võrdlemisel algmeridiaani kohaliku ajaga (või mõne sellise maakoha kohaliku ajaga, mille pikkus on teada), sest kahe maakoha geograafiliste pikkuste vahe on võrdne nende maakohtade kohalike aegade vahega. See on näha joonisel 51. (Kahe maakoha meridiaanide vaheline nurk on võrdne nende meridiaanitasapindade ning maakohtade ja Päikese vaheliste suundade vahele jäävate nurkade vahega.)

Koha geograafilise pikkuse määramise ülesanne jaguneb kaheks osaks:

1) kindlaks teha antud punkti kohalik aeg; 2) teada saada tuntud geograafilise pikkusega maakoha kohalik aeg. Viimast võib teada saada, kui kasutada sellest punktist raadio kaudu edasiantavat õige aja signaali. Raadio kaudu signaali andmise momendil tuleb märkida määratava maakoha kohalikku aega näitava kella näit.

N ä i d e. Moskva raadiojaam annab õige dekreediaja signaali täpselt kell 19.00.

See signaal märgib II ajavööndi aega + 1 tund, s. o. sellise meridiaani aega, mille pikkus on 3 t. 00 min. 00 sek. Tähtede

vaatlemise teel seadis vaatleja oma kella kohaliku aja järgi. Moskva aja signaali kuulis vaatleja kell 23.49 kohaliku aja järgi. Nüüd leidis vaatleja, et tema maakoha kaugus on 23 t. 49 min. — —19 t. 00 min. = 4 t. 49 min. ida pool meridiaanist, mille pikkus on 3 t. 00 min. 00 sek. Greenwichist. Järelikult on vaatleja maakoha geograafiline pikkus 4 t. 49 min. + 3 t. 00 min. = 7 t. 49 min.

32. Kalender. 1. Vana ja uus kalender. Kalendriks nimetatakse suurte ajavahemike arvutamise süsteemi. Tänapäeval kasutavad peaaegu kõik maad päikesekalendrit, s. o. kalendrit, mis põhineb Päikese aastasel ringkäigul mööda ekliptikat ja mis seetõttu on seotud aastaaegade perioodilise vaheldumisega.

Igas päikesekalendris võetakse aluseks troopiline aasta. *Troopiliseks aastaks nimetatakse ajavahemikku Päikese tsentri kahe teineteisele järgneva kevadpunkti läbimise vahel.*

Troopilise aasta pikkus on 365 p. 5 t. 48 min. 46,1 sek. See tekitab raskusi kalendri koostamisel, sest praktilistel kaalutlustel peab iga kalendriaasta sisaldama täisarvu ööpäevi. Sõltuvalt sellest, kuidas kalender kooskõlastatakse troopilise aastaga, esineb mitmesuguseid kalendreid.

Kuni Suure Sotsialistliku Oktoobrirevolutsioonini oli Venemaal tarvitusel kalender, mida nimetatakse vanaks kalendriks. Vanas kalendris on arvutuste lihtsustamise otstarbel võetud aasta pikkuseks 365 päeva 6 tundi, s. o. $365\frac{1}{4}$ ööpäeva. Et kalendriaastas oleks alati täisarv ööpäevi, otsustati lugeda 3 aastat järjest igaühes 365 ööpäeva, järgmises (neljandas) aga 366 ööpäeva jne. Nii oli aasta keskmine pikkus $(365 + 365 + 365 + 366) : 4 = 365\frac{1}{4}$ ööpäeva, mis võetigi kalendriaasta kestuseks.

Liigne päev aastas lisatakse veebruari lõppu (29. veebruar) ja niisugust aastat nimetatakse lisapäeva-aastaks. On kokku lepitud lugeda lisapäeva-aastateks (366 ööpäevaga) need aastad, millede arvud jäägita jaguvad 4-ga, näiteks aastad 1960, 1964, 1968.

Vana kalender jääb tegelikust ajast maha, sest ta võtab aasta keskmiselt pikemaks, kui see tõeliselt on (11 min. 14 sek. võrra). Iga 400 aastaga (täpsemalt 384 aastaga) jääb vana kalender ajast maha 3 ööpäeva võrra.

NSV Liidus (alates 14. veebr. 1918. a.) ja enamikus teistes maades tarvitusele võetud uus kalender (mis mõnedes maades kehtestati juba 1582. a.) on eespool mainitud puudusest peaaegu vaba.

XVI sajandil jäi vana kalender ajast maha juba 10 päeva võrra (alates IV sajandist, mil fikseeriti vana kalendri järgi kevadise pööripäeva moment). Et annulleerida seda mahajäämist, loeti 1582. a. 5. oktoobri asemel 15. oktoober. Et aga viga uuesti ei tekiks, kõrvaldatakse kolm liigset päeva, mis kogunevad vanas kalendris umbes iga 400 aasta kohta, sel viisil, et iga 400-aastase

perioodi kohta loetakse kolm lisapäeva-aastat lihtaastateks. Lepiti kokku, et lihtaastateks loetakse need vana kalendri täissajalised lisapäeva-aastad, mille sadade arv jäägita ei jagu 4-ga. Nii oli 1600. a. mõlema kalendri järgi lisapäeva-aastaks ja XVII sajandil jäi vaheks uue ja vana kalendri vahel 10 päeva. 1700. a. oli uue kalendri järgi lihtaasta, mitte aga lisapäeva-aasta, ja seetõttu vahe nende kalendrite vahel ulatus 11 päevani. Pärast 1800. a. ulatus vahe 12 päevani, pärast 1900. a. 13 päevani, kuid pärast 2000. a. (kuni 2100. a-ni) on ta ikkagi veel 13 päeva.

Uus kalender pole ka päris täpne, kuid viga terve ööpäev tekib alles 3000 aasta jooksul. Praktilist tähtsust niisugusel veal loomulikult ei ole.

2. Kuu ja nädala tekkimine. Kauges minevikus oli nendes maades, kus jahi ja karjandusega tegeldi enam kui põllundusega, kasutusel kalender, mis põhines Kuu faaside vaheldumisel (perioodiga $29^1/_2$ päeva). Meie päikesekalendris on kuu aasta ühe kaheteistkümnendiku nimetusena säilinud, kuid mingit seost Kuuga tal enam ei ole, meie erineva pikkusega (28 päevast kuni 31 päevani) kalendrikuudel ei ole Kuu faaside vaheldumisega midagi ühist.

Seitsmepäevane nädal tekkis aastatuhandeid tagasi seoses usuga planeetide mõjust inimeste saatusele. Igale tol ajal tuntud viiele planeedile, samuti aga ka Päikesele ja Kuule pühendati kindlas järjekorras eri päev nädalas.

3. Ajaarvamise algus. *Ajaarvamise alguseks nimetatakse aastate arvestamise algmomenti.* Roomlased lugesid kaua aega aastaid oma pealinna Rooma asutamisest.

Poolteist tuhat aastat tagasi tegid mungad ettepaneku lugeda ajaarvamise alguseks nn. «Kristuse sündimise» aeg. Selle müütilise sündmuse daatumit ei saadud muidugi kindlaks teha, ta määrati meelevaldselt. Pikkamööda levis «ajaarvamine Kristuse sündimisest» paljudes maades ning on tänapäeval peaaegu üldkasutatav. Meie nimetame seda meie ajaarvamiseks. NSV Liidus säilitati see ajaarvamine seepärast, et on mugav, kui kõikide rahvaste juures on kasutusel üks ja sama ajaarvamine.

Harjutus 7.

1. Kumb kohalik aeg on ees ja kui palju, kas Kuibõševi või Sverdlovski aeg (vt. lisa V)? Tomski või Irkutski aeg?
2. Kasutades lisa V andmeid leida iga eelmises ülesandes toodud linna kohta, kumb aeg on seal ees, kas kohalik aeg või vööndiaeg, ja kui palju; kas dekreediaeg või kohalik aeg ja kui palju.
3. Leida kohalik aeg Riias momendil, mil Tšitaas dekreediaja järgi on keskpäev.
4. Harkovis näitab kohaliku aja järgi seatud kell 7.19. Missugune on sel momendil dekreediaeg? Lahendage sama ülesanne Lvovi, Gorki ja Krasnojarski kohta.
5. Kas ühtivad kahe ränduri ajaarvestused, kui nad üheaegselt väljuvad Moskvast 1. mail, üks läände, teine itta, ning läbivad ööpäevas 15° geograafilise pikkusega võrdse maa? Mida nad teevad, kui ületavad kuupäevaraja?

6. Kohaliku aja järgi seatud kell näitas 23 t. 13 min. momendil, mil raadio kaudu anti signaal, mis märkis, et Greenwichis on keskpäev. Missugune on maakoha geograafiline pikkus?

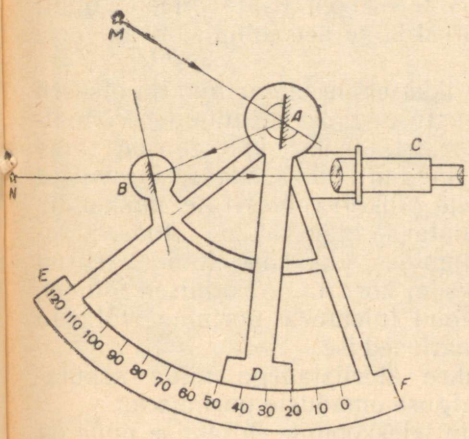
7. Kohaliku aja järgi seatud kell näitas 13 t. 43 min. momendil, kui raadio andis signaali, mis märkis, et Moskvas on kell 19.00 (dekreediaja järgi). Missugune on selle maakoha geograafiline pikkus?

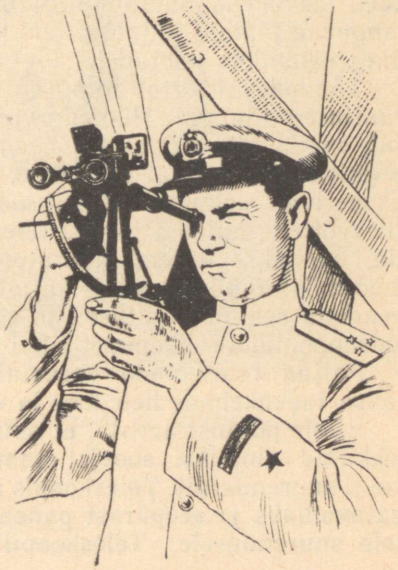
33. Astronoomilised vaatlused mere- ja õhuväes. Laevadel ja lennukitel, mis on pidevas liikumises, on geograafiliste koordinaatide määramine paratamatult tarvilik ja igapäevane ülesanne, mida lahendatakse sageli mitu korda ööpäeva jooksul. Laevade ja lennukite kõikumise tõttu ei saa nendel kasutada riistu, mida tuleb vesiloodi abil üles seada (näiteks teodoliiti). Geograafilise pikkuse ja laiuse määramiseks vajalike taevakehade kõrgus mõõdetakse siin sekstandiga (joon. 52).

Sekstandiks nimetatakse käeshoitavat riista, mille abil määratakse taevakeha nurkkaugus horisondist. Ta koosneb ringi sektorist nurgaga 60°. Sektori külge on kinnitatud horisontaalne toru ja kaks peeglit, millest üks on kindlalt kinnitatud, teine aga pööratav. Käepideme abil seatakse see vajalikku asendisse.

Horisontaalse toruga näeb vaatleja horisonti. Pöörates peegliga joonlauda, tuleb see asetada nii, et kiir taevakehalt, mis langeb pööratavale peeglile, peegelduks sealt teisele peeglile ja edasi vaatleja silma. Sellisel juhul näeb vaatleja taevakeha kujutist horisondil. Joonlaua-osuti näit sektori kaarel annabki taevakeha kõrguse horisondist vaatlusmomendil.

Laevade ja lennukite juhtimise hõlbustamiseks kirjastatakse





Joon. 52. Sekstant ja vaatlemine sellega.

NSV Liidus spetsiaalseid teatmikke (astronoomilised aastaraamatud ja kalendrid), mis sisaldavad mitmesuguseid vajalikke andmeid taevakehade kohta antud aastal.

Transpordis, majanduses, sõjaasjanduses ja mujal vajalikud kaardid koostatakse geodeetiliste mõõtmiste alusel. Viimased baseeruvad omakorda tugipunktide geograafiliste koordinaatide astronoomilisel määramisel. Nõukogude Liidus on astronoomilis-geodeetilised tööd levinud väga ulatuslikult.

34. Taevakehade uurimise astronoomilised meetodid. 1. Teleskoobid ja fotograafia. Teleskoope kasutatakse taevakehade vaatlemiseks. Refraktoris (joon. 53) saadakse kumerate läätsede (objektiivide) süsteemi, reflektoris (joon. 54) nõgusa peegli abil taevakeha kujutis tasapinnal, mida nimetatakse fokaaltasapinnaks. Seda kujutist vaadeldakse okulaari abil. Valguse hulk, mis koondatakse läätse või peegli abil, on võrdeline nende pindalaga.

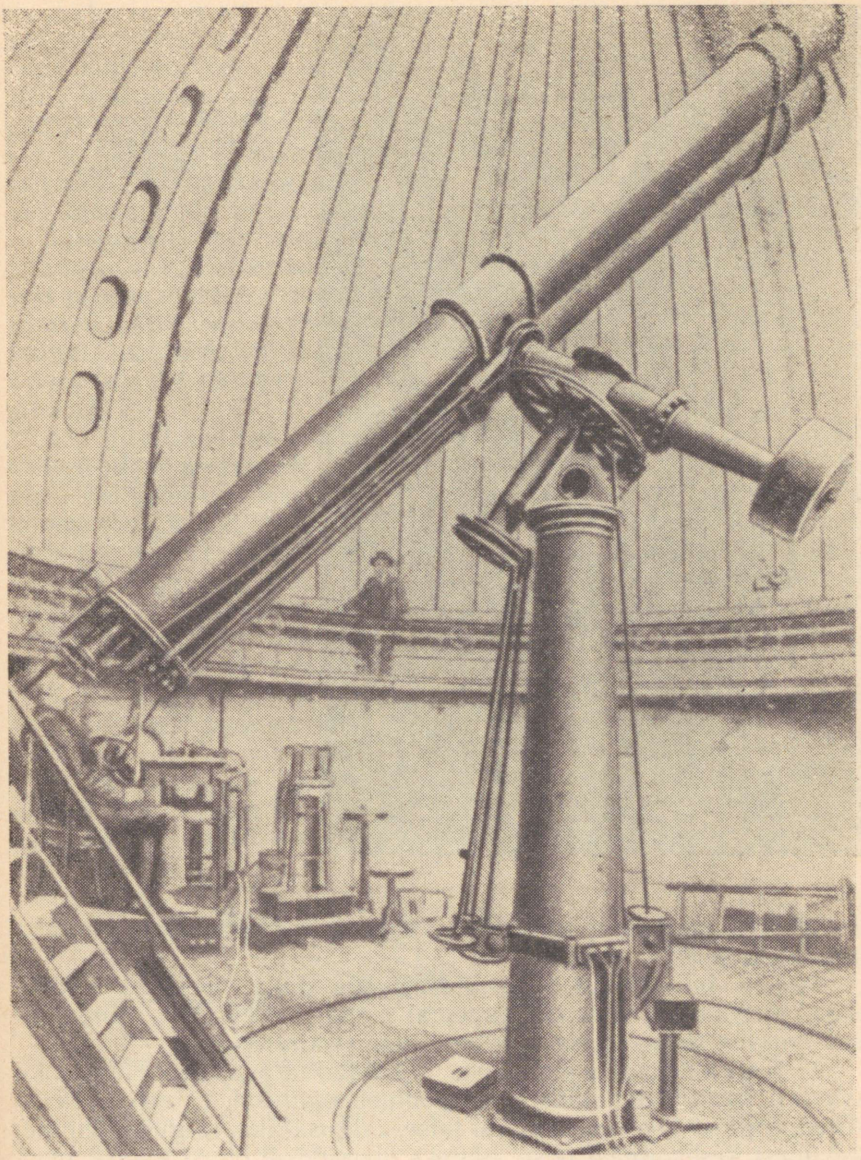
Nõukogude teadlane D. Maksutov konstrueeris menisk-teleskoobi, mis ühendab endas refraktorite ja reflektorite paremusi. Tema süsteemi järgi on ehitatud ka kooliteleskoobid.

Taevakehade füüsilise loomuse uurimiseks rakendatakse mitmesuguseid teleskoope. Ühtedest neist vaadeldakse taevakehi otseselt silmaga, teiste abil aga fotografeeritakse neid. Kõik suured teleskoobid pannakse pärast valitud tähele suunamist kellamehhanismi abil liikuma ümber telje, mis on suunatud maailma poolusele. Seetõttu vaatleja, hoolimata taeva ööpäevasest pöörlemisest, näeb taevakeha muutumatult oma teleskoobi vaateväljas, samuti langevad tähtede kujutised sel korral kogu aeg fotoplaadi ühtedele ning samadele kohtadele.

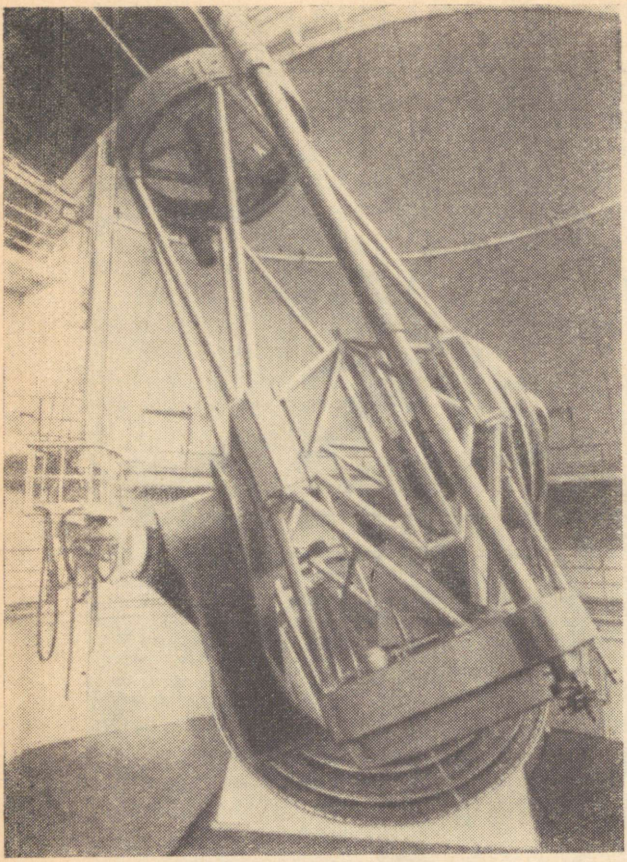
Tänapäeval tõrjub fotograafia ikka enam ja enam välja otsesed vaatlused silmaga. Pikkade valgustusaegade kasutamine võimaldab saada fotosid palju nõrgematest tähtedest, kui seda on sama teleskoobiga nähtavad tähed. Saadud taevakehade ülesvõtted fikseerivad dokumentaalselt nende olukorra ülesvõtte momendil. Ülesvõtteid, millega järjest täiendatakse taevakehade fotode kogusid, uuritakse hiljem laboratooriumides, kus kõiki fotodel tehtud mõõtmisi võib kontrollida ja igal ajal korrata. Mõõtmised fotodel, nendega seotud arvutused ja saadud tulemuste uurimine võtavad astronoomidel rohkem aega kui vaatlused ise.

Paljud teleskoobid varustatakse abiriistadega, mida kasutatakse taevakehade heleduse ja valguse omaduste uurimiseks.

Ei ole põhjust arvata, et suurte teleskoopide ehitamise püüe on tekkinud ainuüksi soovist vaadelda taevakehi võimalikult tugevasti suurendatult. Teleskoobis muutuvad kõik õhu liikumised märgatavamaks ja seepärast paneb õhu alaline lainetus piiri praktilisele suurendusele. Teleskoopilistel vaatlustel kasutatakse harva



Joon. 53. Kaksikrefraktor taevakehade vaatlemiseks ja pildistamiseks.



Joon. 54. Krimmi observatooriumi reflektor (peegli läbimõõduga 2,6 m).

üle 500-kordseid suurendusi, kuigi suured teleskoobid võivad anda tuhandekordseid suurendusi.

Suured teleskoobid võimaldavad aga näha nõrgema heledusega, järelikult ka meist kaugemal asuvaid taevakehi, võimaldavad tungida sügavamale maailmaruumi põhjatusse.

2. Spektraalanalüüs. Mõõdunud sajandi keskpaiku avastati spektraalanalüüs. See põhineb nähtusel, et erivärvilised kiired, millest koosneb ühe või teise valgusallika valgus, üleminekul ühest keskkonnast teise, näiteks üleminekul õhust klaasi, murduvad erinevalt. Sellest ajast peale on seda meetodit täiendatud ja ta on leidnud kõige mitmekesisemaid rakendusi. Temale me võlgneme tänu enamiku meie teadmiste eest taevakehade füüsilisest loomusest ja keemilisest koostisest.

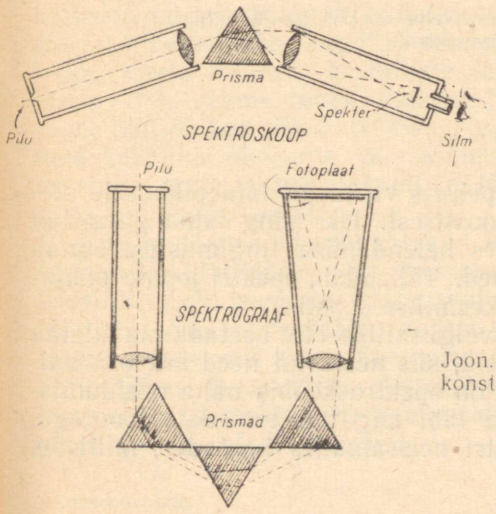
Spektraalanalüüsi toimetatakse riista abil, mida nimetatakse spektroskoobiks (joon. 55). Spektroskoop koosneb ühest või mit-

mest klaasprismast ja kahest torust. Ühel neist (joonisel vasakul), mida nimetatakse kollimaatoriks, on eespoolses otsas kitsas pilu, mida läbib uuritava taevakeha valgus. Teises otsas on objektiiv, mille fookusesse ongi asetatud pilu. Seepärast pilust tulevad valguskiired (kusjuures pilu osutub nagu spektroskoobi valgusallikaks) väljuvad objektiivist paralleelse kimbuna ja langevad kõik prismale ühesuguse langemisnurga all. Selles seisnebki kollimaatori ülesanne.

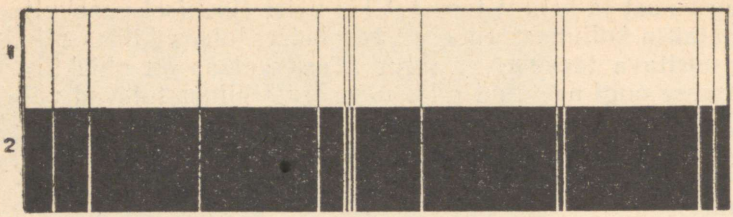
Liitvalgus, mis koosneb mitmevärvilistest kiirtest, lahutub prismas oma koostisosadeks. Erivärvilised kiired lähevad laiali, sest prisma murrab neid erinevalt. Murdunud kiired satuvad vaatetorusse. Kui fookusesse asetada okulaari asemele fotoplaat, siis saame uuritava valguse koostisosade foto, mida nimetatakse spektrogrammiks. Sel juhul nimetatakse riista spektrograafiks.

On avastatud, et hõõguvad tahked ja vedelad kehad, samuti hõõguvad, tugevasti elektriseeritud (ioniseeritud) gaasid annavad nn. pideva spektri vikerkaarevärvilise riba näol. Sellises spektris lähevad värvused punane, oranž, kollane, roheline, helesinine, sinine ja violett järk-järgult üksteiseks üle. Valge päikesevalgus koosneb kõigi vikerkaarevärvuste segust. Nagu teada, levib valgus lainetena ja igal spektri värvusel on oma lainepikkus. Täpsemalt öeldes, igale spektri punktile vastab oma lainepikkus (lainepikkus on ühine ainult nendel punktidel, mis asuvad spektri pikkusega risti oleval joonel). Näiteks spektri kaks kollast naaberrida, mis pole värvuselt silmaga teineteisest eraldatavad, on erineva lainepikkusega.

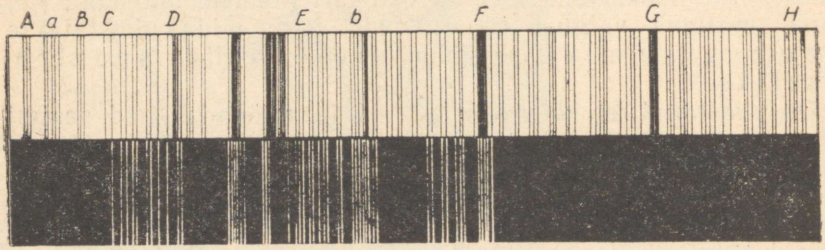
Läbipaistvad gaasid ja aurud, kui nad on hõrendatud ja helendavad kas kuumutamise või elektrilahenduse mõjul, annavad joonspektri, mis koosneb heledatest värvilistest joontest tumedal



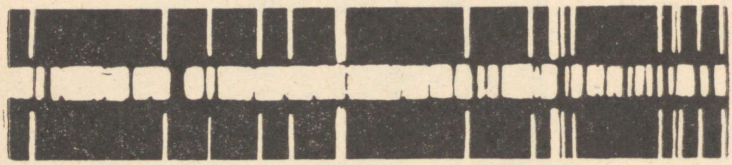
Joon. 55. Spektroskoobi ja spektrograafi konstruktsiooni skeemid.



Joon. 56. Spektrite mitmesugused liigid.



Joon. 57. Päikese spektri (üleval) võrdlus raua spektriga.

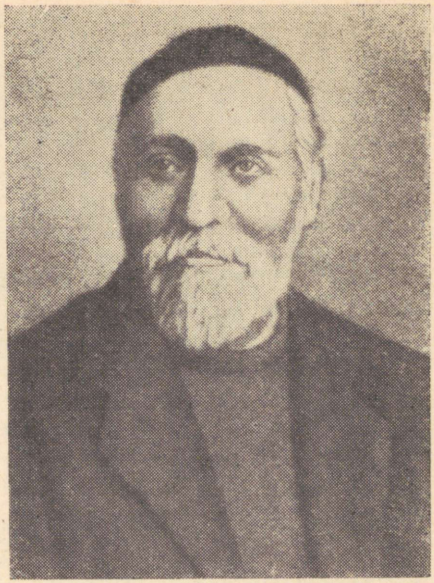


Joon. 58. Vaatleja suunas liikuva taevakeha spektri joonte nihkumine. Ülal ja all laboratoorsed võrdlusspektrid.

foonil. Joonte asetus sellises spektris vastavalt lainepikkusele oleneb antud gaasi keemilisest koostisest. Üks ning sama gaas, kui ta on enam-vähem ühesugustes helendamise tingimustes, annab spektris ühed ning samad jooned. Tähendab, spektri joonte põhjal võib määrata helendava gaasi keemilise koostise.

Kui pidevat spektrit andva valgusallika ette asetada madalama temperatuuriga aurud või gaasid, siis neelavad need ära osa valgusallika valgusest. Sel juhul on spektroskoobis näha neeldumisspekter, pidev spekter, mis on läbi lõigatud tumedate joontega. Tumedad jooned asuvad spektri neissamades kohtades, millistes

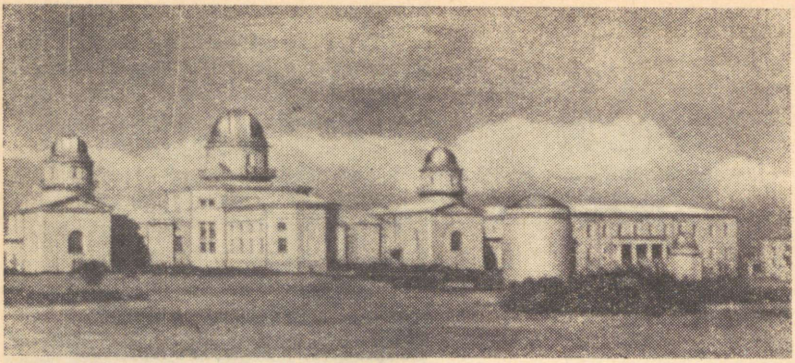
A. Belopolski.



need aurud ja gaasid ise annavad spektri heledad jooned, kui nad on helendamise olekus.

3. Taevakehade keemilise koostise, kiiruse ja temperatuuri määramine. Spektraalanalüüsi abil saab keemilist koostist määrata ainult siis, kui gaasid on kas isehelendavad või kui nad neelavad pidevat spektrit andva valgusallika valgust ning tekitavad sellega pidevas spektris tumedate joonte esinemise. See kehtib atmosfääride kohta, mis ümbritsevad selliseid taevakehi, nagu Päike ja tähed. Tähtede ja Päikese spektrid on pidevad, läbi lõigatud tumedate joontega. Kõrvutades neid jooni meile tuntud keemiliste elementide spektrite joontega (joon. 57), saame teada Päikese ja tähtede väliste, vähem kuumade kihtide keemilise koostise. Neil taevakehadel on leitud ainult neid keemilisi elemente, mis esinevad ka Maal, see aga kinnitab maailma materiaalset ühtsust ja lükkab ümber valeõpetused looduse tunnetamatusest.

Kuu ja planeedid peegeldavad Päikese valgust ja seepärast ei saa spektraalanalüüsi abil määrata kindlaks nende endi keemilist koostist. Kuid enne, kui päikesevalgus peegeldub planeedi pinnalt, läbib ta tema atmosfääri; pärast peegeldumist, teel meie poole, läbib ta seda veel kord. Seejuures päikesevalgus neeldub planeedi atmosfääris ja seetõttu planeetide spektrites ilmnevad tumedad lisajooned (võrreldes Päikese spektriga). See võimaldab määrata planeedi atmosfääri koostist.



Joon. 59. Pulkovo observatoorium.

Taevakehade liikumiskiirused Maa suhtes vaatesihis (meie poole või meist eemale) määratakse spektraalanalüüsi abil nn. Doppler-Fizeau' printsiibi põhjal. Doppler-Fizeau' printsiip seisab selles, et valgusallika ja vaatleja lähenemisel kõik spektrijooned nihkuvad tema violetse otsa poole, vaatleja ja valgusallika vastastikuse eemaldumise puhul aga nihkuvad tema spektrijooned punase otsa poole. Joone nihke suurus oleneb liikumiskiirusest ja seda võib mõõta (joon. 58). Kõige selle tõelisust tõestas katseliselt esimesena akadeemik A. Belopolski (1854—1934) Pulkovo observatooriumis (joon. 59).

Vaatlussuunaga risti toimuva liikumise tõelise kiiruse määramiseks on vaja teada taevakeha nihkumise näivat nurkkiirust taevaskeral ja tema kaugust meist.

Isehelendavate taevakehade (näiteks Päike ja tähed) temperatuuri määratakse heleduse jaotumise uurimise abil piki spektrit. Madalama temperatuuriga isehelendaval kehal on punane värvus, sest kõige heledamaks kohaks tema spektris on just punane värvus. Kuumem keha saadab välja kollast valgust, sest tema spektri kõige heledamaks kohaks on kollase värvusega osa. Veel kuumem keha on valge, sest värvuste heledus tema spektris on selline, et segunedes nad annavad valge värvuse. Veel kõrgema temperatuuriga keha spektris on kõige heledam spektri sinine ja violetne osa, mistõttu keha värvus paistab sinakana. Valguse kiirgamise teooria, mis on katseliselt kontrollitud, näitab, kuidas heleduse jaotus spektri eri värvuste vahel sõltub keha temperatuurist. Uurinud heleduse jaotusi Päikese ja tähtede spektris, võime kindlaks määrata, missugune on taevakeha temperatuur.

Päikesevalgust peegeldavate planeetide ja Kuu temperatuure määratakse termoelemendi abil. Astronoomias kasutatakse koos

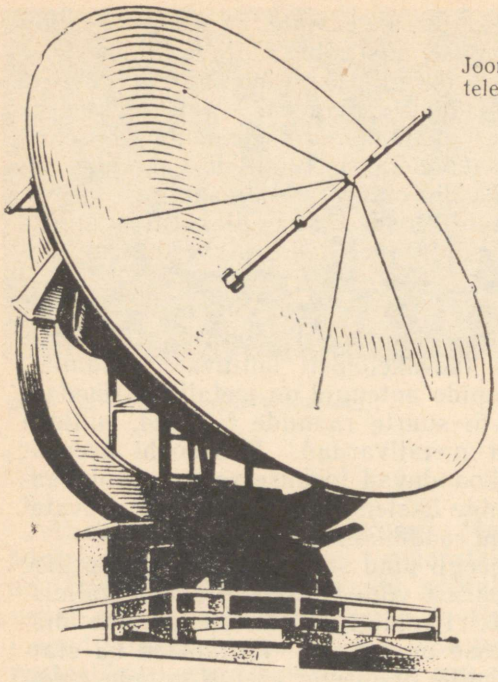
teleskoopidega niivõrd tundlikke termoelemente, et need on võimelised kinni püüdma küünla soojust, mis põleb paljude kilomeetrite kaugusel. Selline termoelement paigutatakse teleskoobi objektiivi fookusesse sinna kohta, kus saadakse planeedi kujutis. Planeedi tühine soojuskiirgus ikkagi soojendab termoelementi ja selles tekib nõrk elektrivool, mida mõõdetakse tundliku galvanomeetriga. Teades voolu tugevust võib määrata soojushulga, mis on tulnud sellelt planeedilt Maani, teades aga planeedi kaugust Maast võib nende andmete põhjal arvutada planeedi temperatuuri.

4. Raadioastronoomia mõiste. Viimasel ajal on tänu raadioteleskoopidele, mis kujutavad endast eritüübilisi antenne, saanud võimalikuks taevakehadelt lähtuvate raadiolainete vastuvõtt. Raadioteleskoopide antennid on metallist (tihedate või võrejate) nõguspeeglite või suurte raamide taolised, millede külge on ridamisi kinnitatud metallvardad. Teleskoobi peeglilt raadiolained peegelduvad ja koonduvad fookusesse, kus asub raadiolainete vastuvõtja. Antennide üksteisega paralleelselt asuvatel varrastel (dipoolidel) tekitavad raadiolained võnkumisi.

Raadiolainete jaoks peab peegli pind olema täpsem kui optilise teleskoobi peegli pind. Sellepärast võib teleskoobi peegli valmistada suuremate mõõtmetega. Peegliga raadioteleskoopide diameeter võib ulatuda kümnetesse meetritesse. Ehitatakse ka statsionaarseid raadioteleskoope, mille diameeter ulatub sadade meetriteni, kusjuures peegel valmistatakse tsemendist otse maapinnale. Teleskoobid püüavad kinni ka nende taevakehade kiirgust, mis asuvad meist nähtavasti veel kaugemal kui optiliste teleskoopidega jälgitavad kõige kaugemad tähed. Radarite abil on võimalik suunata raadiosignaale meile lähematele taevakehadele ning võtta vastu neilt peegeldunud raadiosignaale. Raadiosignaalide levimiseks taevakehani ja sealt tagasi kuluva aja järgi saab määrata taevakeha kaugust. Nii määrati Kuu ja lähemate planeetide kaugused. Vaatlused raadioteleskoopide ja radaritega kujutavad endast taevakehade tundmaõppimise uut meetodit — raadioastronoomiat.

Me näeme, et kaasaegsel teadusel on rida võimsaid meetodeid universumi täpsemaks uurimiseks. Need meetodid võimaldavad täiesti kindlalt uurida taevakehade füüsilist loomust, nende liikumist, keemilist koostist ja temperatuuri. Seega kaasaegsed andmed taevakehadest ei ole lihtsad oletused, vaid on mõõtmiste ja katseliselt paljukordselt kontrollitud seaduste rakendamise usaldatavaks tulemuseks.

5. Nõukogude observatooriumid. NSV Liidu suurimad astronoomia observatooriumid asuvad Pulkovos, Krimmis, Moskvas, Abastumanis (Gruusias), Bjurakanis (Armeenias), Alma-Atas ja samuti ka teistes meie maa linnades. Krimmis asub Euroopa suurim reflektor peegli läbimõõduga 2,6 m. 1839. a.



Joon. 60. Suur metallpeegliga raadioteleskoop.

W. Struve poolt asutatud Pulkovo observatooriumi nimetati XIX sajandil «maailma astronoomiliseks pealinnaks», kuna observatoorium oli hästi varustatud ning oli kuulus oma läbimõeldud ja erakordselt täpsete tööde poolest. Observatooriumi sõitsid end täiendama paljude maade teadlased.

Peale teleskoopide kasutatakse observatooriumides taevakehade loomuse tundmaõppimiseks täpseid riistu nende täpse asukoha ja näiva liikumise kindlaksmääramiseks ning õige aja määramiseks (kellade kontrollimiseks).

III peatükk.

PÄIKESESÜSTEEMI KEHADE FÜÜSILINE LOOMUS.

KUU.

35. Kuu liikumine ja faasid. Kuu on ainuke ümber Maa tiirlev taevakeha, kui mitte arvestada viimastel aastatel inimese poolt valmistatud Maa kunstlikke kaaslasi.

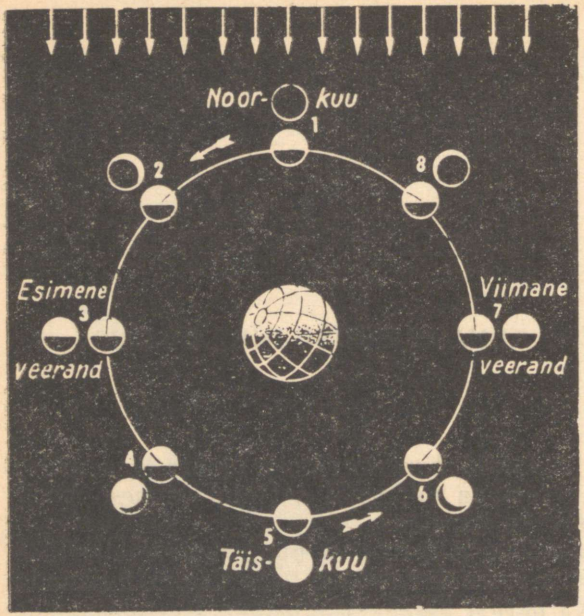
Kuu liigub pidevalt mööda tähistaevast mingisuguse teise tähe suhtes, nihkudes ööpäeva jooksul vasakule (ida poole) ligikaudu 13° võrra, $27^1/_3$ ööpäeva pärast jõuab ta aga tagasi nendesamade tähtede juurde, kujutades mööda taevaskera täisringi. Seepärast nimetatakse *ajavahemikku, mille jooksul Kuu sooritab teiste tähtede suhtes ümber Maa täisringi, tähe- (ehk sideeriliseks) kuuks. Selle kestus on* $27^1/_3$ *ööpäeva.*

Sageli katab Kuu oma liikumisel meie eest ajutiselt tähed või planeedid. See näitab, et Kuu asub meile lähemal kui tähed ja planeedid. Kuu näiv liikumine mööda taevaskera toimub ekliptika läheduses; Kuu orbiidi tasapind on aga veidi kaldu (5°) ekliptika tasapinna suhtes. Kuu orbiidi lõikepunkte ekliptika tasapinnaga nimetatakse K u u o r b i i d i s õ l m e d e k s.

Kuu keskmine kaugus Maast on 384 400 km ehk ligi 30 Maa diameetrit.

Kuu välisilme muutumine — tema faaside vaheldumine — on tingitud sellest, et Kuul on Maa ja teda valgustava Päikese suhtes erinevad asendid.

Kuu on kerakujuline tume keha. Kui Kuu asub Maa ja Päikese vahel, siis on tema meie poole pööratud poolkera Päikesest valgustamata ja meie Kuud ei näe. Seda Kuu faasi nimetatakse n o o r k u u k s (ehk Kuu loomiseks). Kui aga Kuu asub otse teisel pool, s. t. Maa on Päikese ja Kuu vahel, siis on kogu meie poole pööratud Kuu poolkera Päikesest heledasti valgustatud. Seda faasi nimetatakse t ä i s k u u k s. Vahepealsetes asendites me näeme neid või teisi osi tema valgustatud poolkerast külje pealt, mistõttu Kuu paistab poolkettana (esimene veerand ja viimane veerand), rohkem või vähem kitsa sirbina jne. Joonis 61 näitab Kuu faaside



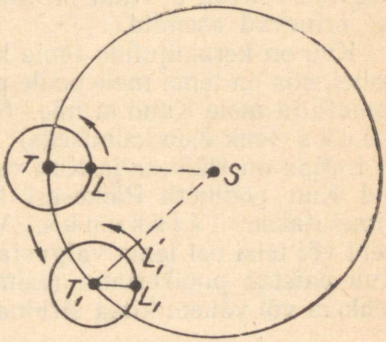
Joon. 61. Kuu faaside vaheldumine.

seost Kuu asendiga tema orbiidil; päikesekiired langevad ülevalt joonise tasapinnas.

Kuu ülemine kulminatsioon toimub täiskuu ajal kesköö1, esimese veerandi puhul umbes kell 18 ja viimase veerandi puhul umbes kell 6 (kohaliku aja järgi). Selle teadmine tuleb meile kasuks maastikul orienteerumisel ja öösel kellaaja umbkaudsel määramisel.

Ajavahemikku Kuu kahe teineteisele järgneva ühesuguse faasi vahel nimetatakse sünoodiliseks kuuks; see võrdub $29^1/_2$ *ööpäevaga.*

Sünoodiline kuu on pikem sideerilisest kuust. See tuleb sellest,



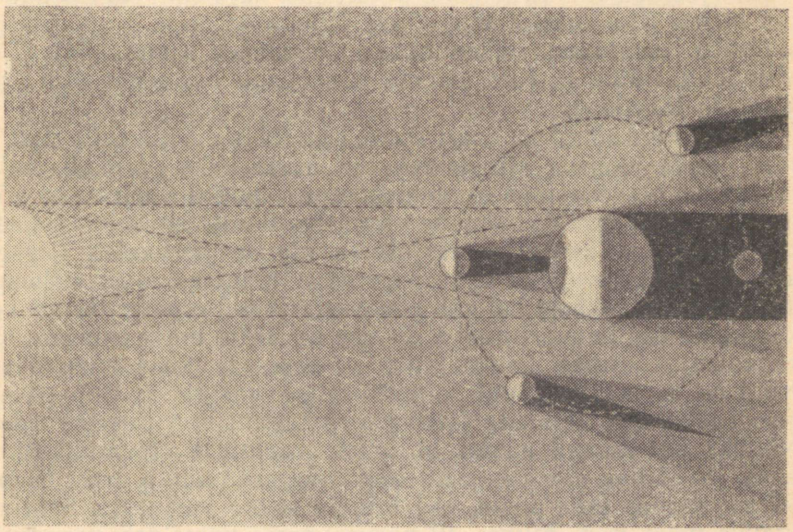
Joon. 62. Sünoodiline kuu on pikem sideerilisest kuust.

et Kuu ühesugused faasid esinevad Kuu ühesuguste asendite puhul Päikese ja Maa suhtes. Joonisel 62 on Kuu (punktis L) kujutatud noorkuu asendis — Maa ja Päikese vahel. Ajavahemiku jooksul, mil Kuu teeb ümber Maa täisringi, jõuab Maa koos Kuuga läbida $^1/_{13}$ osa oma orbiidist ümber Päikese ja ta osutub punktis T_1 olevaks. Kuu, liikudes noole suunas, on siis asendis L_1, mis, nagu me näeme, ei vasta veel noorkuule. Noorkuu asendisse L_1' jõudmiseks tuleb Kuul pöörduda veel nurga $L_1T_1L_1'$ võrra, milleks kulub umbes kaks ööpäeva.

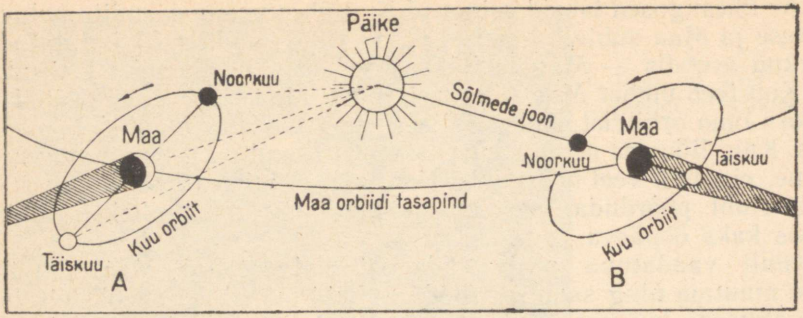
Kuult vaadatuna peab Päikesest valgustatud Maa samuti faase muutma ning sama perioodiga, kuid faasid ise on üksteisele vastupidised: kui meie näeme noorkuud, siis Kuult vaadatuna paistab «täismaa» jne.

Maa pindala on Kuu pindalast 14 korda suurem. Lisaks sellele peegeldab Maa pind päikesekiiri seitse korda paremini kui Kuu pind. Seepärast valgustab noorkuu ajal Maa Kuud hoopis tugevamini kui täiskuu ajal Kuu Maad. Sellega seletub ka «tuhkvalguse» nähtus: nii nimetatakse Päikesest valgustamata kuuketta osa nõrka sinakasrohekat helendust pisut enne ja varsti pärast noorkuud, mil Kuu paistab kitsa sirbina. Sel ajal valgustab Maa heledasti Kuu pinda.

36. Päikese- ja kuuvarjutused. 1. Varjutuste põhjused. Kui Kuu orbiidi tasapind ühtiks ekliptika tasapinnaga, siis toimuk-



Joon. 63. Päikese- ja kuuvarjutuse skeem.



Joon. 64. Kuu orbiit ja sõlmed.

sid päikese- ja kuuvarjutused iga kuu. Iga noorkuu ajal asuks Kuu siis Maad ja Päikest ühendaval sirgel ning varjaks oma läbipaistmatu kehaga viimase meie eest. Selle tagajärjel esineks iga kord nähtus, mida me nimetame päikesevarjutuseks. Täpselt samuti satuks Kuu iga täiskuu ajal varju, mida heidab endast Maa ja mille tagajärjel toimuks kuuvarjutus (joon. 63). Kuu orbiidi kallakuse tõttu ekliptika suhtes liigub Kuu noor- ja täiskuu ajal enamasti ekliptikast kõrgemalt või madalamalt ning varjutusi ei teki (joon. 64).

Varjutused võivad tekkida ainult siis, kui noor- või täiskuu juhtub olema Kuu orbiidi ühe sõlme läheduses, s. o. Kuu orbiidi ja ekliptika tasapinna lõikepunktide läheduses (joon. 64). Teiste sõnadega, Päike ja Kuu peavad üheaegselt asetsema Kuu orbiidi sõlmede läheduses.

Kuna neid sõlmi on kaks, Päike aga läbib mööda ekliptikat täisringi aasta jooksul, siis esineb iga aasta kaks perioodi (mis on lahutatud pooleaastase ajavahemikuga), millal varjutused võivad tekkida. Kuu orbiidi sõlmede asend kogu aeg muutub ja seetõttu muutuvad iga aasta ka varjutuste alguse perioodid. Täpsemad arvutused näitavad, et iga aasta peab toimuma mitte vähem kui kaks ja mitte rohkem kui viis päikesevarjutust ning mitte üle kolme kuuvarjutuse; kuuvarjutusi võib aga ka üldse mitte esineda. Kõige sagedamini esineb aastas kaks päikese- ja kaks kuuvarjutust. Kuid on ka aastaid, mil toimub seitse varjutust. Juba vanasti pandi tähele, et 18 aasta ja 10 päeva tagant varjutused korduvad. Näiteks kui mingil aastal oli seitse varjutust (loomulikult Maa ühes ja samas punktis neid kõiki polnud näha), siis 18 aasta pärast saabus taas aasta, mil toimus seitse varjutust. Sealjuures igaüks neist n.-ö. hilines 10 päeva võrra, võrreldes varjutustega 18 aastat tagasi.

2. K u u v a r j u t u s e d. Maa heidab maailmaruumi koonusekujulise, Päikesest eemale suunduva varju. Kui täiskuu juhtub olema küllalt lähedal Kuu orbiidi sõlmele, siis sukeldub Kuu selles faasis kas osaliselt või täielikult Maa varju ja tekibki kuuvarjutus — osaline või täielik.

Kuuvarjutus on üheaegselt nähtav kogu Maa poolkeral, mis on varjutuse ajal pööratud Kuu poole.

Et Maa varju läbimõõt Kuu kaugusel on peaaegu $2^1/_2$ korda suurem Kuu diameetrist, siis kestab täielik kuuvarjutus kuni 1 tund 40 min., kogu varjutus algusest lõpuni aga üle kolme tunni.

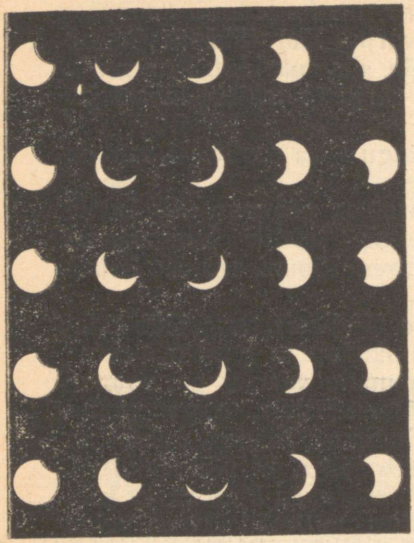
Varjutuste ajal Kuu harilikult ei kao täielikult, vaid jääb nähtavaks, olgugi et nõrgalt. Seejuures omandab ta punakaspruuni värvuse. Varjutuse ajal esinev Kuu punane värvus on saanud aluseks paljudele ebausust kantud tõlgendustele, nagu kuulutaks see ette sõda või muid hirmsaid sündmusi. Põhjus, miks Kuu muutub varjutuse ajal punakaks, seisneb selles, et päikesekiired, murdudes Maad ümbritsevas atmosfääris, satuvad Maa varju koonusesse. Kuid kõigist vikerkaarevärvustest, millest koosneb valge päikesevalgus, neelab atmosfäär tugevasti helesiniseid ja nende naaberkiiri, lastes aga läbi (selle koonuse sisse) peamiselt punaseid kiiri, mida ta neelab nõrgemini. Need kiired valgustavadki Kuud varjutuse ajal.

3. P ä i k e s e v a r j u t u s e d. Kuu on Maast väiksem, seepärast on Kuu poolt heidetud varjukoonuse läbimõõt väiksem Maa läbimõõdust. Kuu vari ei saa katta korraga kogu Maad või isegi selle tähelepandavat osa. Seetõttu on t ä i e l i k päikesevarjutus nähtav ainult selle võrdlemisi väikese laigu sees, mille Kuu vari moodustab Maa pinnal. See varjulaik ei ulatu kunagi isegi 300 km läbimõõduni, olles tavaliselt palju väiksem. Väljaspool seda laiku, piirkonnas, kuhu langeb Kuu poolvari, raadiusega kuni 4000 km, on nähtav o s a l i n e varjutus, s. o. Kuu katab ainult osa päikesekettast (joon. 65). Maa ülejäänud kohtades, väljaspool varju ja poolvarju, päikesevarjutust ei esine.

Et Maa pöörleb ümber telje, Kuu aga tiirleb ümber Maa, siis liigub Kuu vari mööda Maa pinda ja täielik päikesevarjutus on nähtav järjestikku eri momentidel maapinna eri kohtades.

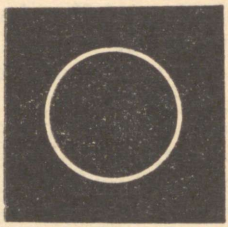
Nii Kuu kui ka Maa orbiidi elliptilisuse tõttu on Kuu näiv nurkdiameeter kord suurem, kord võrdne, kord väiksem Päikese omast. Esimesel juhul kestab täielik varjutus teatud aja (mitte üle 7 min. 30 s.), teisel ainult ühe silmapilgu, viimasel juhul ei kata Kuu aga Päikest üldse tervikuna, ümber Kuu tumeda ketta jääb paistma hele rõngas — toimub rõngakujuline varjutus (joon. 66).

Päikesevarjutuse pilt kulgeb järgmiselt. Kõige enne tekib Päikese ketta läänepoolsel (paremal) serval väike must väljalõige. See kasvab pidevalt ja Päike kattub üha enam ja enam Kuuga. Nii möödub umbes üks tund.



Joon. 65. Osalise päikesevarjutuse mitmesugused faasid (järjekord vasakult püstridadena üles).

Joon. 66. Rõngakujuline päikesevarjutus.



Kuni täieliku varjutuse alguseni nõrgeneb päikesevalgus aeglaselt ja seetõttu mitte just väga märgatavalt. Täieliku varjutuse algusega muutub pilt järsult: läheb üsna pimedaks ja taevas muutuvad nähtavaks heledamad tähed ning planeedid. Läbi teleskoobi võime ümber Päikese näha heledaid väljaulatuvaid osi (protuberantse), mis sarnanevad väikeste roosakate keelekestega. Varjatud Päikese ümber välgatab Päikese kroon, mis kujutab endast Päikese atmosfääri välimisi osi. Täieliku varjutuse lõppedes ilmub Kuu parema serva tagant nähtavale kitsas päikesesirbike, mis otse kallab heledat valgust, ja kohe kaovad kroon, protuberantsid ja tähed. Sirbike kasvab pidevalt ja Kuu nihkub Päikese kettalt ära umbes ühe tunniga.

Päikese täielikke varjutusi esineb mistahes kohas keskmiselt üks kord 300 aasta jooksul. NSV Liidu paljudes piirkondades oli täielik päikesevarjutus viimast korda nähtav 1961. a. Järgmine täielik päikesevarjutus, mis on jälgitav meie maa paljudes rajoonides, toimub alles XXI sajandil.

Varjutuste ajal õnnestub vaadelda selliseid nähtusi, mida teisel ajal pole võimalik näha. Seepärast korraldatakse nende vaatlusteks täieliku varjutuse vöötmetesse eriekspeditsioone (joon. 67).

Oli aeg, millal inimesed väga kartsid varjutusi, pidades neid halbadeks enneteks või jumala viha väljenduseks. Sageli toetusid sellele ebausule usukultuse teenrid.

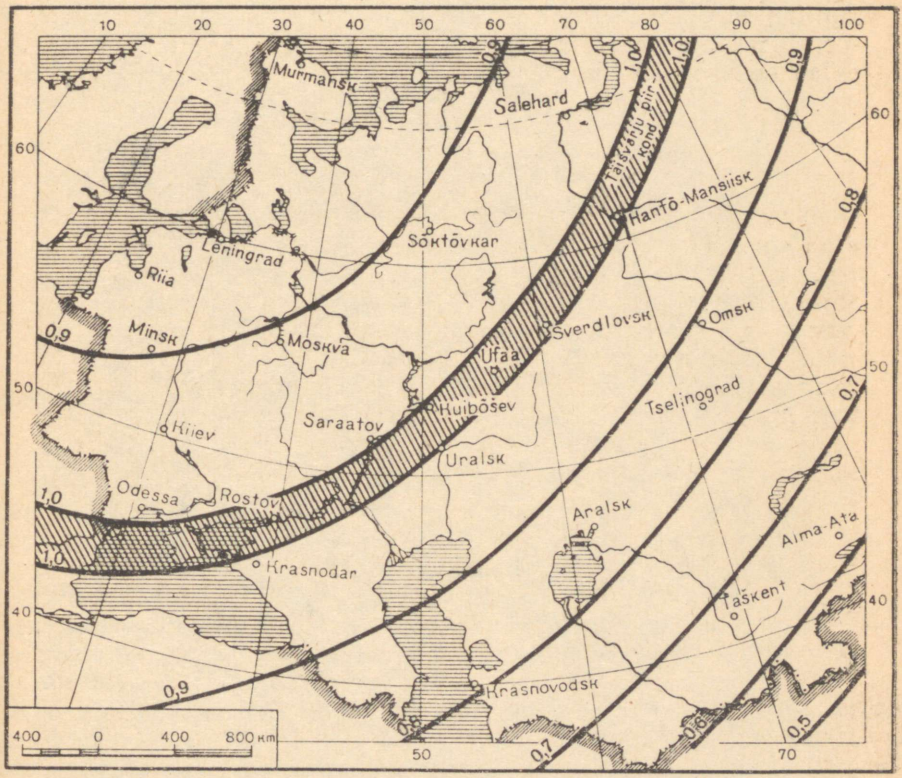
Tundes Kuu liikumise teooriat, arvutavad teadlased varakult

iga varjutuse saabumise kümnendiksekundilise täpsusega. Väikesed kõrvalekaldumised tegelike varjutuste faaside saabumise ja arvutusandmete vahel viivad Kuu liikumise teooria edasisele täpsustamisele. Varjutuste ajad ja nende nähtavuse tingimused teatatakse igal aastal kooli astronoomilises kalendris.

Varjutuste kuupäevad ja nähtavuse on teadlased välja arvutanud nii pikaks ajaks ette kui ka tagasi. Viimane on tarvilik ka selleks, et määrata kindlaks ajalooliste sündmuste aega, mis langesid ühte mingi varjutuse ajaga.

Harjutus 8.

1. Esimeses veerandis olev Kuu on nähtav horisondi läheduses. Kui palju on kell (ligikaudu)? Mis ilmakaares Kuu asub?
2. Kuu tõusis täna kesköö. Millal ligikaudu tõuseb ta homme?



Joon. 67. 1961. a. 15. veebruari päikesevarjutuse nähtavuse kaart. Viirutatud ribas oli varjutus täielik. Paralleelsed jooned ühendavad punkte, kus varjutus oli osaline (nende faasid on näidatud kaardi äärtel).

3. Kuu on umbes täiskuu faasis. Kuidas näeb sel ajal välja Maa, kui teda vaadelda Kuult?

4. Kuusirp on pööratud oma kumera poolega paremale ja asub horisondi lähedal. Missuguse ilmakaare suunas te vaatate?

5. Eile oli täiskuu. Kas nädala pärast võib toimuda päikesevarjutus?

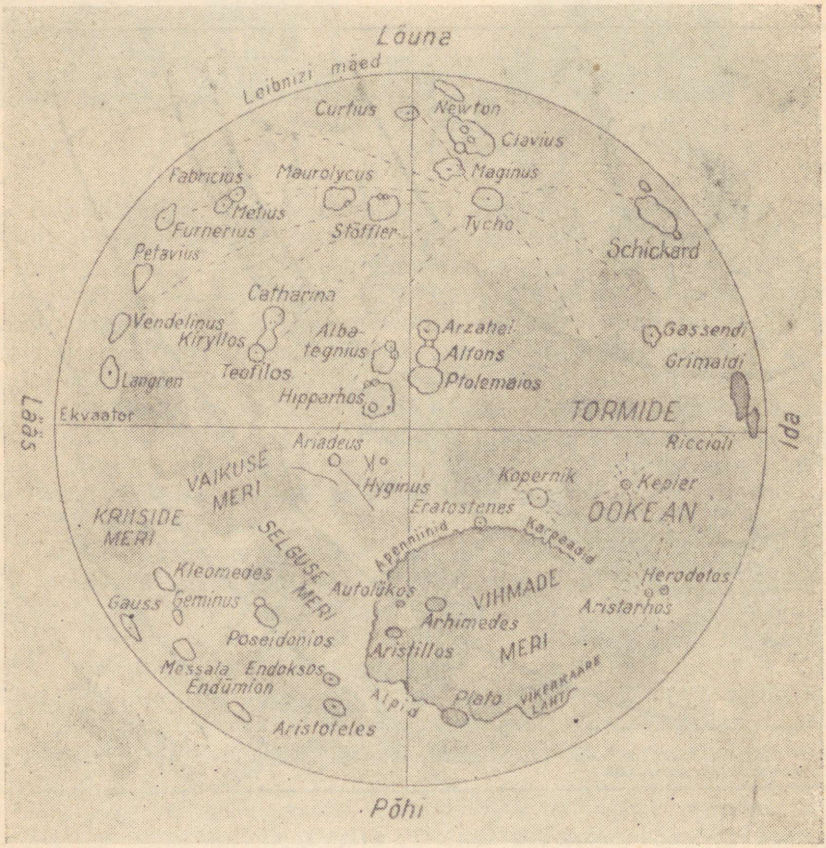
6. Ülehomme on päikesevarjutus. Kas saab täna olla kuuvalge öö?

7. Mispärast pole kuuvarjutused mõnikord antud kohas nähtavad?

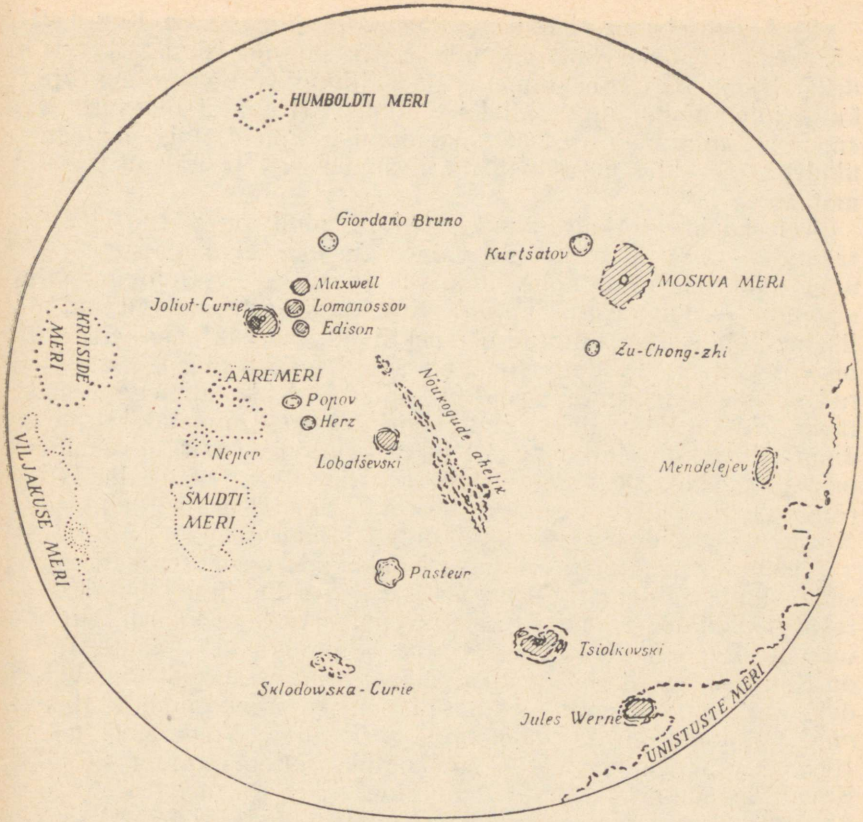
8. Kas on võimalik vaadelda Maa põhjapooluselt päikesevarjutust 15. novembril?

9. Kas on võimalik vaadelda Maa põhjapooluselt kuuvarjutusi, mis toimuvad juunis ja novembris?

37. Kuu füüsiline loomus. 1. Kuu pöörlemine ümber telje. Kuu on alati pööratud Maa poole ühe ja sama küljega. Esimesel pilgul näib, et kui see on nii, siis Kuu järelikult ei pöörle



Joon. 68. Kuu kaart (Maa poole pööratud külg).



Joon. 69. Kuu nähtamatu poolkera kaart, mis on koostatud kolmanda Nõukogude kosmoseraketi fotode põhjal.

ümber telje. Pole aga raske mõista sellise järelduse ekslikkust: käies ümber mõne eseme (näiteks tooli) ja sealjuures mitte pöörelides, s. o. vaadates näoga kogu aeg ühele poole (näiteks klassitahvlile), me pöörame järk-järgult eseme poole oma keha erinevaid külgi. Vastupidi, kui kogu aeg vaadata tooli suunas, pöördudes selle poole näoga, tuleb ringikäimisel pöörduda ümbritsevate esemete suhtes, s. o. pöörelda ümber telje.

Kuu pöörlemisperiood ümber telje võrdub tema tiirlemisperioodiga ümber Maa. Pöördudes ümber telje, pöörab Kuu Päikese poole vaheldumisi oma erinevaid pooli. Järelikult toimub Kuul päeva ja öö vaheldumine, kuid Kuu ööpäevad on võrdsed sünoodilise kuuga, s. o. päev kestab peaaegu 15 maapealset ööpäeva, niisama kaua kestab seal ka öö.

2. Kuu pinnaehitus. Juba palja silmaga on Kuu kettal nähtavad tumedad laigud, mida XVII sajandil nimetati «meredeks» (joon. 68). See nimetus on säilinud veel käesoleva ajani, kuigi juba ammu on kindlaks tehtud, et Kuul ei ole vett. Kuu «mered» kujutavad endast tasandikulisi alasid, mis ebatasaste aladega võrreldes peegeldavad vähem valgust ja näivad tumedamatena.

Teleskoobis torkab silma, et Kuu pind on äärmiselt ebatasane — ta on üleni kaetud mägede ja mäeahelikega ning oleks nagu läbi kaevatud kõikvõimalikus suuruses süvenditega. Need süvendid on ümmarguse kujuga. Kuu ketta äärtel näivad nad piklikena, kuid see on tingitud perspektiivist: me vaatame neile mitte otse ülevalt, vaid küljelt. Need on rõngataolised mäed. Nende teatud sarnasuse tõttu maapealsete vulkaanide kraatritega nimetatakse ka neid kraatriteks. Suuremaid kraatreid nimetatakse nende ümmarguse kuju tõttu tsirkideks. Mõnede tsirkide läbimõõt on suurem kui 200 km. Tsirkide põhi on üsna tasane, kuid neid rõngana ümbritsevad mäevallid on väga keerulise ehitusega. Nende mäevallide kõrgus ulatub mitme kilomeetrini.

1959. aastal pildistas kolmas Nõukogude kosmoserakett esimesena Maalt nähtamatut Kuu poolkera. Saadud foto põhjal koostasid nõukogude teadlased ka Kuu selle poolkera kaardi. Üldiselt on mõlema poolkera loodus sarnane, kuid nõgusid — «meresid» — on Kuu n.-ö. tagaküljel hoopis vähem. Siin avastatud pinnavormidele andsid nõukogude teadlased sellised nimed, nagu *Moskva meri, Tsiolkovski* ja *Lomonossovi kraater, Nõukogude ahelik.* 1965. aastal fotografeeris Nõukogude automaatjaam «Zond-3» Kuust möödumisel tema tagakülge väga heade tulemustega; Ameerika jaamad aga, langedes Kuule, pildistasid tema esikülge lähedalt.

Kuu tsirgid ja kraatrid ei sarnane maapealsete vulkaanidega. Suhe mäe kõrguse ja kraatri süvendi enda suuruse vahel on nii ühtedel kui teistel hoopis erinev. Samal ajal kui maapealsete vulkaanide kraatrid kujutavad endast koonusetaolistes mägedes esinevaid läbimõõdult väikesi lehtritaolisi süvendeid, on Kuu tsirkide sügavus nende läbimõõduga võrreldes õige väike ja nad meenutavad oma kujult pigem madalaid taldrikuid.

Suured Kuu tsirgid ja kraatrid on vulkaanilise tekkega, väikesed on aga moodustunud meteoriitide löökidest.

Päikese poolt valgustatud mäed, eriti need, mis asuvad kuukettal Kuu päevase ja õise poolkera piiril, heidavad varje, mille pikkuse järgi saab määrata mägede kõrgust. Täiskuu ajal näevad maapealsed vaatlejad Kuud selleltsamalt poolelt, millelt temale paistab ka Päike; seepärast puudub Kuu mägedel täiskuu ajal vari ja see võtab võimaluse lähemalt selgitada Kuu pinna reljeefi.

Mõningais kohtades Kuu pinnal on nähtavad määratu suured mäeahelikud ja pikad lõhed, mis läbivad tema koort.



Joon. 70. Kuu pinna foto Vihmade mere (tume süvik) piirkonnast.



Joon. 71. Kuu tsirgi ja maapealse vulkaani profiilide võrdlemine.

Kuu vaatluste puhul täiskuu ajal eralduvad heledad kiired, mis lähtuvad radiaalselt mõnedest tsirkidest. Kõige pikemad kiired väljuvad Tycho tsirgist (Kuu lõunapoolkeral).

3. Füüsilised tingimused Kuul on väga omapärased ja erinevad teravalt tingimustest Maa peal. Raskusjõud on Kuu peal kuus korda väiksem kui Maa peal. See olukord oli põhjuseks, et Kuu ei suutnud kinni pidada gaaside ja veeauru osakesi, mis moodustasid kunagi tema atmosfääri. Seepärast puudub Kuul praktiliselt atmosfäär ja tema «meredes» pole tilkagi vett.

Atmosfääri puudumist Kuul tõestavad mitmed nähtused. Üks neist seisab selles, et tähtede kattumisel Kuuga ei kustu nad Kuu servale lähenedes mitte järk-järgult, vaid kaovad selle taha järsku. Kui Kuud ümbritseks atmosfäär, siis kustuksid tähed järk-järgult: Kuu servale lähenedes nõrgeneks tähtede heledus valguse neeldumise tõttu Kuu atmosfääris. Lisaks sellele on öö ja päeva piir Kuul väga terav. Siin ei esine hämarikku, mida põhjustab päikesevalguse hajumine atmosfääri ülemistes kihtides.

Atmosfääri puudumine Kuul mõjustab järgmisi nähtusi: kuupealsete mägede varjud on mustad ja teravad; Kuul pole ei koitu ega hämarikku ega mingisuguseid ilmastikulisi nähtusi; taevas paistab seal täiesti mustana ja temal võib üheaegselt näha Päikest, Maad ja tähti. Kuul ei saja kunagi vihma ja me ei näe tema kohal iialgi pilvi ega udu.

Atmosfääri puudumine, mis tasandaks temperatuuri kõikumisi, ja päeva ning öö pikk kestus põhjustavad Kuul kuumuse ja pakase terava vahe. 354-tunnilise päeva jooksul kuumeneb Kuu pind kuni +120°, seejärel aga jahtub 354-tunnilise öö vältel kuni —160°. Pole mingisugust alust oletada, et tingimused meile nähtamatul Kuu poolel erineksid tema meie poole pööratud poolkera tingimustest. Olemasolevatel tingimustel on orgaaniline elu Kuul võimatu.

PLANEEDID JA KAASLASED.

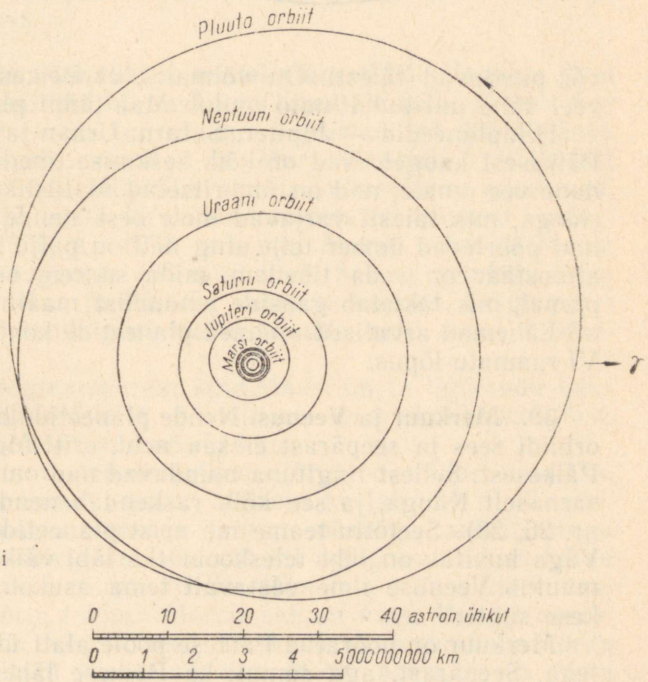
38. Päikesesüsteemi üldine ülevaade. Päikesesüsteemi kuuluvad peale Päikese suured ja väikesed planeedid, mis koos oma kaaslastega tiirlevad ümber Päikese, komeedid ja loendamatud meteoorkehad.

Lähtudes Päikesest järjestuvad suured planeedid järgmiselt: Merkuur, Veenus, Maa, Marss, Jupiter, Saturn, Uraan, Neptuun ja Pluuto. Merkuur on Päikesele ligi kolm korda lähemal kui Maa, Pluuto aga 40 korda kaugemal kui Maa (joon. 72). Kõige väiksem nende planeetide hulgas on Merkuur ja kõige suurem Jupiter. Planeetide ja Päikese suhtelised suurused on näidatud joonisel 73.

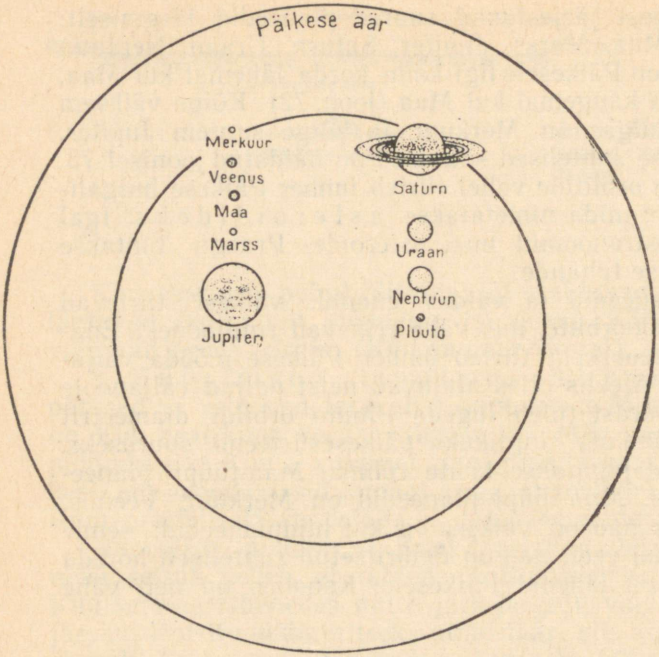
Marsi ja Jupiteri orbiitide vahel tiirleb ümber Päikese hulgaliselt väikesi planeete, mida nimetatakse asteroididekss. Igal aastal avastavad astronoomid uusi asteroide. Praegu tuntakse neid juba üle poolteise tuhande.

Kõik suured planeedid ja valdav enamik väikesi tiirlevad ümber Päikese mööda orbiite, mis vähe erinevad ringjoonest. Enamik komeete ja meteoorkehi tiirleb ümber Päikese mööda väljavenitatud ellipseid. Afeelis olles ulatuvad neist paljud väljapoole Pluuto orbiiti. Seepärast tuleb lugeda Pluuto orbiidi diameetrit (80 astronoomilist ühikut) tinglikuks päikesesüsteemi suuruseks.

Suured planeedid jagatakse kahte rühma: Maa-tüüpi planeedid ja hiidplaneedid. Maa-tüüpi planeedid on Merkuur, Veenus, Maa ja Marss. Kõik nad on väiksemad kui hiidplaneedid; nende tihedus on suurem kui veel; nad on ümbritsetud suhteliselt hõreda atmosfääriga; nad on lähedal Päikesele. Kaaslasi on neil vähe



Joon. 72. Päikesesüsteemi plaan.



Joon. 73. Päikese ja planeetide suhtelised suurused.

või puuduvad täiesti. On võimalik, et Päikesest kaugel asuv ja veel vähe uuritud Pluuto kuulub Maa-tüüpi planeetide hulka.

Hiidplaneedid — Jupiter, Saturn, Uraan ja Neptuun — asuvad Päikesest kaugel. Nad on kõik keskmise tihedusega, mis on lähedane vee omale; nad on ümbritsetud ulatuslike pilviste atmosfääridega, mis täiesti varjavad meie eest nende planeetide pinna; nad pöörlevad ümber telje ning neil on palju kaaslasi. Planeetide atmosfäär on seda tihedam, mida suurem on raskusjõud nende pinnal, mis takistab gaaside lendumist maailmaruumi.

Lähemad arvulised andmed planeetide kohta on toodud tabelis VI raamatu lõpus.

39. Merkuur ja Veenus. Nende planeetide orbiidid asuvad Maa orbiidi sees ja seepärast ei saa neid, eriti Merkuuri, näha eemal Päikesest. Sellest tingituna muudavad nad oma välisilmet (faase) sarnaselt Kuuga, ja see kõik raskendab nende uurimist (vt. osa nr. 26, 28). Seetõttu teame me neist planeetidest võrdlemisi vähe. Väga huvitav on läbi teleskoobi (ka läbi väikese) jälgida, kuidas muutub Veenuse ilme vastavalt tema asukoha muutumisele Päikese suhtes.

Merkuur on pööratud Päikese poole alati ühe ja sellesama küljega. Seepärast, aga samuti ka Päikese läheduse tõttu, on Mer-

kuuri Päikese poole pööratud poolkera temperatuur kõrgem kui plii sulamistäpp (327°). Seal on igavene päev. Merkuuri vastaspoolkeral valitseb igavene öö. Merkuuri atmosfäär on äärmiselt hõre.

Veenus on suuruselt peaaegu võrdne Maaga. Tiheda atmosfääri olemasolu Veenusel avastas 1761. a. M. Lomonossov. See esimene avastus atmosfääri olemasolu kohta planeedil oli tähtsaks teiste planeetide ja Maa sarnasust kinnitavaks tõendiks ja andis teadusliku aluse ideele elu võimalikkuse kohta mitte ainult Maal.

Veenuse atmosfäär on täidetud tihedaist valgeist pilvedest, mis varjavad tema pinna. Seetõttu on Veenuse pinnamood meile tundmata. Veenuse pöörlemisperiood, mida saab määrata radiomeetrite abil, on võrdne 225 maapealse ööpäevaga, kusjuures tema pöörlemine on vastupidine Maa pöörlemisele. Seepärast moodustavad päikeseööpäevad Veenusel ligi 84 maapealset ööpäeva.

Veenuse atmosfääris on palju süsihappegaasi, leidub ka veeauru. Hapniku olemasolus kaheldakse. Elu võimalikkus Veenusel, kus on märksa soojem (ligi 300° C) kui Maa peal, on vähe usutav.

Kaugus Veenuseni, mis oli määratud astronoomiliselt, leidis kinnitust aja mõõtmisega, mis kulus raadiosignaalil Veenuseni jõudmiseks ja sealt Maale tagasipeegeldumiseks. Raadiosignaali andmine nii suure vahemaa taha on teaduse ja tehnika suurepäraseks saavutuseks.

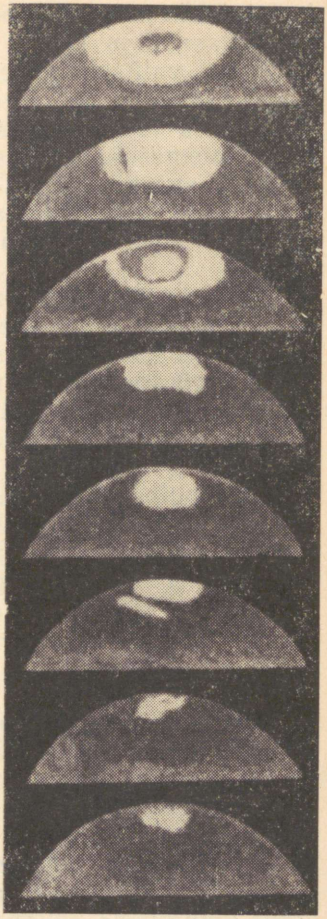
40. Marss ja elu võimalikkus teistel planeetidel. Veenuse järel võib suurtest planeetidest Maale kõige lähemale tulla Marss. See juhtub tema vastasseisude juures, mis korduvad iga 780 ööpäeva järel. Sellest tingituna, et Maa ja Marsi kaugused Päikesest nende liikumisel mööda elliptilisi orbiite mõnevõrra muutuvad, korduvad iga 15—17 aasta järel nõndanimetatud «suured vastasseisud» (näiteks 1956. a., 1971. a.), mil Marss läheneb Maast kõige väiksemale kaugusele (56 milj. km). See on peaaegu kolm korda väiksem kui Maa ja Päikese vaheline kaugus. Kõige paremini saab Marssi uurida just vastasseisude, eriti suure vastasseisu ajal.

Merkuurist on Marss suurem, kuid Maast on ta ligikaudu kaks korda väiksem (läbimõõdult). Marsil on kaks kääbuskaaslast, millest suurema läbimõõt on umbes 15 km.

Marsil nähtavate tumedate laikude järgi on tehtud kindlaks, et tema pöörlemisperiood, tema ööpäev kestab 24 t. 40 min. Tähendab, öö ja päeva vahetus toimub peaaegu samuti nagu Maal. Marsi pöörlemistelg on tema orbiidi tasapinna suhtes kaldu peaaegu niisama suure nurga all kui Maa telg oma orbiidi tasapinna suhtes. Seetõttu toimub Marsil samuti nagu Maalgi aastaaegade vaheldumine, ainult need kestavad peaaegu kaks korda kauem kui maapealsed aastaajad, sest Marsi aasta, s. o. tema



Joon. 74. Marss vaadatuna läbi teleskoobi (üleval valge polaarmütsike).



Joon. 75. Marsi polaarmütsikese muutused.

tiirlemisperiood ümber Päikese, on peaaegu kaks korda pikem maapealsest aastast. Marsi loodus sarnaneb Maa loodusega veel selle poolest, et Marss on samuti ümbritsetud atmosfääriga; olles aga Päikesest poolteist korda kaugemal kui Maa, saab ta sellelt valgust ja soojust $2^1/_4$ korda vähem kui Maa. Marsi atmosfäär on hoopis hõredam kui õhk Maa kõige kõrgemate mägede tippudes. Kõige selle tõttu on Marsi kliima ka tublisti karmim. Marsi kõige soojemates kohtades ei tõuse temperatuur nähtavasti üle 25° ja Päikese loojudes langeb temperatuur mõnevõrra allapoole nulli, ulatudes hommikuks —40°-ni. Olgugi et Marsi atmosfääris esineb vahetevahel pilvi ja udu, on seal vett ja veeauru, samuti hapnikku (hädavajalik aine maapealsete loomade hingamiseks) vähem kui 0,1% nende koostisest Maa atmosfääris.

Kõige paremini on Marsi pinnal läbi teleskoobi näha valged laigud, mis katavad Marsi pooluseid (joon. 74). Need «polaarmütsikesed» kasvavad oma mõõtmeilt, kui Marsi vastaval poolkeral saabub talv, kevade saabudes nad äärtest killunevad ja muutuvad väiksemaks (joon. 75). Kõigi tunnuste kohaselt on need härmatis- või jääkatted (kuhjatised), mille kohal hõljub udu. Pole kahtlust, et vett on Marsil väga vähe. Suur osa Marsi pinnast on oranži värvusega, mis paljale silmale näib punakana. See tasane ala kujutab endast nähtavasti liivakõrbet. Mõnel korral on pandud tähele, et Marsil esinevad kestvad tolmutormid — Marsi pind kattub otsekui kollase looriga.

On koostatud Marsi pinnamoe kaardid. Tähelepanuväärıv on tema tumedate laikude värvuse perioodiline muutumine. Kevadel omandavad nad roheka varjundi, sügiseti ja talviti muutuvad nad aga pruuniks ja halliks. Tõendid selle kasuks, et tumedad laigud Marsil on taimestikuga kaetud madalikud, et taimestik muudab oma värvust sõltuvalt aastaaegade vaheldumisest, kaotavad oma usutavuse vastavalt teaduse arengule. Kuivõrd Marsi kliima on maapealsetele taimedele väljakannatamatult karm ja kuivõrd mõningad Marsi roheliste laikude omadused ei sarnane maapealsete taimede omadustega, on taimestiku arenemine Marsil võimatu.

Marsi edasine uurimine lahendab selle teadusliku vaidluse — kas on temal elu, eriti taimestikku puutuvalt, või mitte. Tulevased uurimised selgitavad ka Marsi nõndanimetatud k a n a l i t e olemuse. Kanaliteks nimetati Marsi pinda läbivaid vaevalt nähtavaid peeni, pikki ja ühtlasi tumedaid jooni. Mõned teadlased oletasid minevikus, et need kanalid näivad niivõrd korrapäraste moodustistena, et neid tuleb pidada kunstlikult tekitatuiks.

Tänapäeval on suuremad kanalid fotografeeritud. Nende fotode uurimine ja vaatlused läbi suurte teleskoopide tegid kindlaks, et kanalid on loodusliku tekkega, nähtavasti jõed või kraavikesed, mis on ääristatud taimkattest, millele silm, nagu igale halvasti nähtavale esemele, omistab korrapärase kuju.

1965. aastal fotografeeris Ameerika automaatjaam Marsi pinna osi lähedalt. Ilmnes, et Marsil on palju samasuguseid kraatreid nagu Kuulgi.

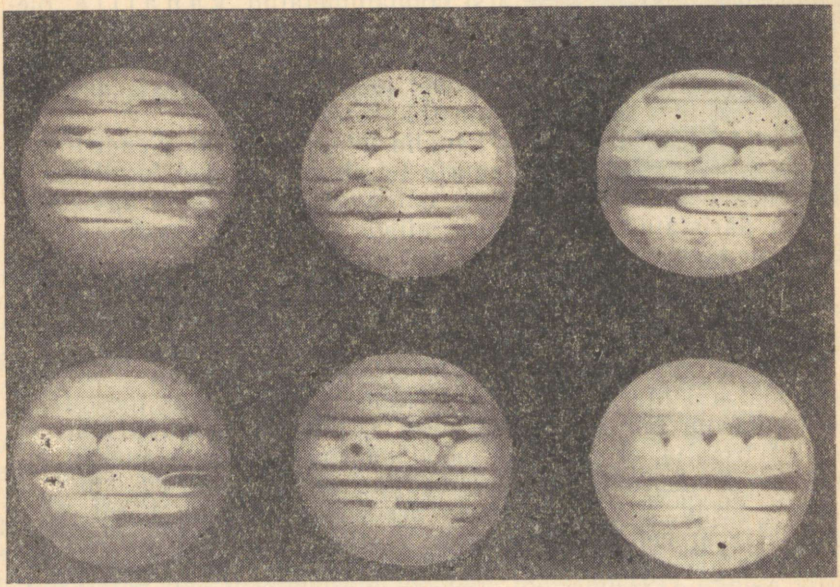
Teaduse andmetel on elu planeetidel, mis asuvad Päikesest kaugemal kui Marss, võimatu. Sõltumata sellest, kas tõestatakse elu olemasolu tänapäeval Veenusel ja Marsil, kinnitab materialistlik filosoofia, et elu tekib mõõdapääsmatult igal planeedil, kui selle arenemisprotsessis saabuvad kunagi tingimused, mis on eluks soodsad. Elu on mateeria arenemise kõrgeim vorm. Oma tekkeks ja arenemiseks nõuab ta kindlaid tingimusi, näiteks vee olemasolu ja teatud temperatuuri, et valkaine ei kalgenduks ja oleks võimalik ainevahetus. Taimede toitumiseks on vaja süsihappegaasi, loomade ja taimede hingamiseks aga hapnikku. Lõp-

matus universumis on tohutult palju tähti, s. o. päikesi, mille ümber peavad tiirlema omad planeedid. Paljudel neist planeetidest peavad kas varem või hiljem kujunema tingimused, mille juures nagu Maalgi saab tekkida ja areneda elu.

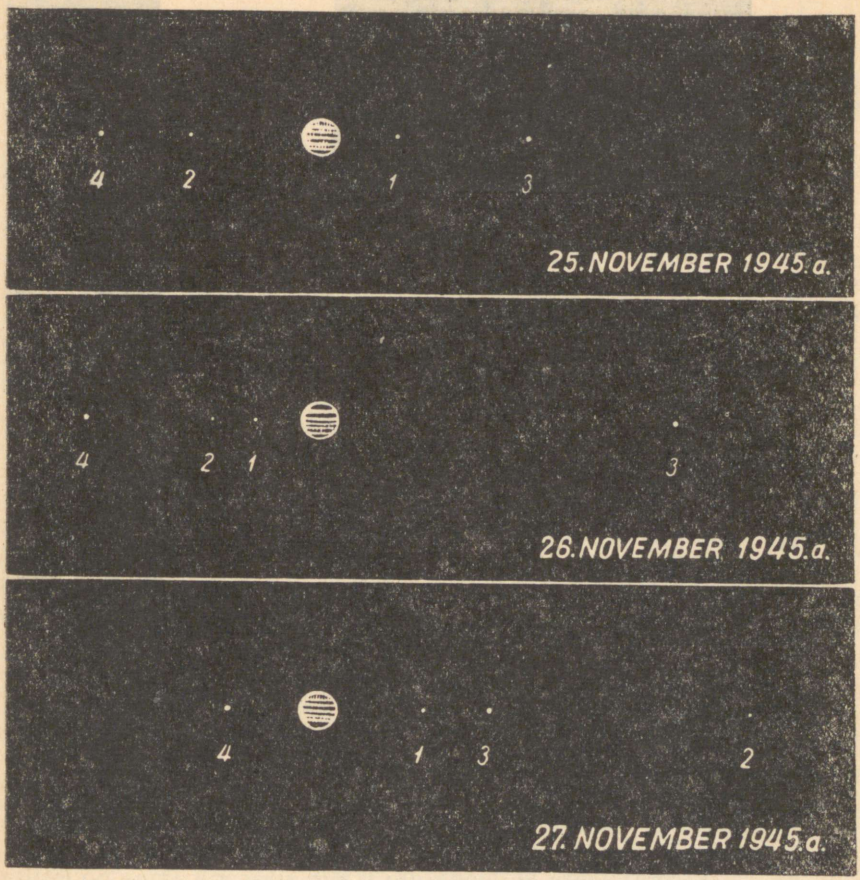
41. Hiidplaneedid. Neljast tohutu suurest planeedist (Jupiter, Saturn, Uraan, Neptuun) on suurimaks Jupiter. Ta on Maast läbimõõdult 11 korda suurem. Suuruselt järgneb talle Saturn. Kõik need planeedid pöörlevad kiiresti ümber telje: kõige lühem pöörlemisperiood on Jupiteril — alla 10 t., kõige pikem Neptuunil — umbes 16 t. Kuid nende planeetide nähtavad pinnaosad, mis on kujunenud tihedatest pilvedest nende ulatuslikus atmosfääris, pöörlevad erineva nurkkiirusega. Ekvaatorilised piirkonnad pöörlevad mõnevõrra kiiremini kui ekvaatorist kaugemad alad. Tahke keha nii pöörelda ei saa — temal pöörlevad kõik punktid ühesuguse nurkkiirusega.

Kiire pöörlemise tagajärjel on hiidplaneedid pöörlemistelje suunas hoopis rohkem kokku surutud (lapikud) kui Maa. See lapikus on läbi teleskoobi hästi nähtav Jupiteri ja Saturni juures.

Pöörlemistelg on mitmesugustel planeetidel orbiidi tasapinna suhtes kaldu erineva nurga all. Jupiteril asub telg tema orbiidi

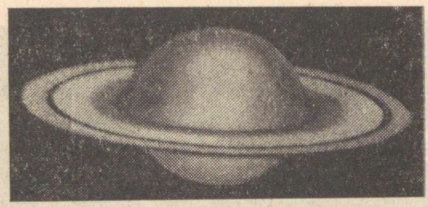


Joon. 76. Jupiteri vaade ja muutused teda ümbritsevais pilvedes.



Joon 77. Jupiteri kaaslaste mitmesugused asendid.

suhtes peaaegu risti ja seepärast ei esine Jupiteril aastaaegade vaheldumist. Saturni telje kallakus on lähedane Maa omale, kuna Uraani pöörlemistelg on kallutatud väga lähedale orbiidi tasapinnale ja ta nagu pöörleks «küljel lamades» (mistõttu aastaaegade vaheldumine toimub järsult). Kuidas näeb välja hiidplaneetide pilvedest varjatud pind, pole teada. Me näeme ainult pilvevööte nende atmosfääris, mis planeetide pöörlemise tõttu kulgevad paralleelselt nende ekvaatoriga. Hiidplaneetide atmosfäär koosneb enamikus ammoniaagist ja metaanist. Nende gaaside koostisse kuulub ka vesinik. Arvestuste kohaselt peab vesinik moodustama nende planeetide, eriti Jupiteri peamise koostisosa. Planeetide



Joon. 78. Saturni vaade teleskoobis.



Joon. 79. Saturni rõnga muutused.

sisemuses ületab aine tihedus vee tiheduse. Hiidplaneetide pind koosneb tõenäoliselt jääst ja külmunud gaasidest. Atmosfääri temperatuuri mõõtmised näitavad Jupiteri kohta 138° allpool nulli ja Päikesest kaugemal asuvate planeetide kohta veelgi vähem.

Planeedi keskmise tiheduse saame, kui jagame tema massi mahuga. Selliste planeetide nähtav maht määratakse nende äärmiselt tüseda atmosfääri pilvevöötidest ümbritsetud osa mahuga. Planeetide mass on koondunud peamiselt nende tihedasse ja kokkusurutud tuuma, mis asub jääkatte all. Seepärast saame ka hiidplaneetide jaoks keskmise tiheduse, mis on lähedane vee tihedusele ja mistõttu varem ekslikult arvati, et need planeedid on vedelad (väikseim — 0,7 — on Saturni tihedus).

Tegelikult on neil planeetidel aga tihe raske tuum, mille pind on tugevasti külmunud ja mida ümbritseb külmunud gaaside

kiht, ning lõpuks veel üsna ulatuslik ja suhteliselt tihe läbipaistmatu atmosfäär.

Hiidplaneetide atmosfääri madal temperatuur näitab, et nad saavad oma soojuse peaaegu tervenisti Päikeselt, millest nad asuvad väga kaugel.

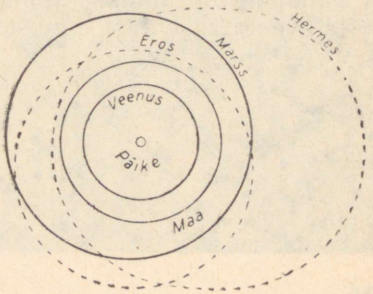
Juba väikese pikksilmaga on Jupiteril näha pilvede vöödid (joon. 76). Teistel planeetidel paistavad need vöödid halvemini.

Saturn on ainuke planeet päikesesüsteemis, millel on tähelepandav iseärasus — rõngas (joon. 78). See rõngas on väga õhuke ja asetseb planeedi ekvaatori tasapinnas. Maa ja Saturni (koos rõngaga) vastastikuse asendi muutumisel muutub ka rõnga välisilme (joon. 79). Kui ta on pööratud meie poole küljega, on ta nähtav ainult väga tugeva pikksilma abil.

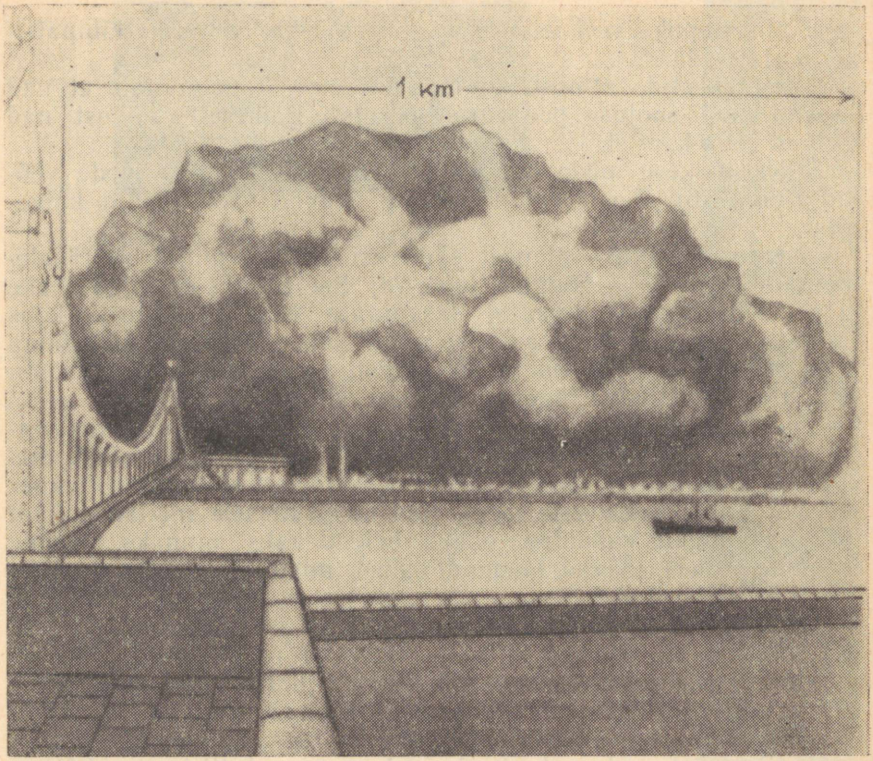
Vene astronoom A. Belopolski tõestas 1895. a., et Saturni rõngas pole pidev, vaid koosneb lugematust hulgast osakestest, mis väikeste kaaslaste sarnaselt tiirlevad üksteisest sõltumatult ümber Saturni Kepleri seaduste järgi. Nad on üksteisele nii lähedal, et liituvad kaugelt vaadates üheks helendavaks pinnaks. Nende orbiitide vahele jäävad laiemad vahed, mistõttu tekib nagu rida kontsentrilisi ringe.

Jupiteril on teada 12 kaaslast, Saturnil — 9, Uraanil — 5 ja Neptuunil — 2. Mõningad neist tiirlevad ümber oma planeedi vastupidises suunas viimase pöörlemisele ümber oma telje. Neli peamist Jupiteri kaaslast, mis avastati juba Galilei poolt, on hästi näha isegi väikese pikksilmaga. Huvitav on jälgida nende kaaslaste tiirlemist ümber Jupiteri; nad asetsevad tiirlemise käigus viimasest mitmesugustel kaugustel (vt. joonis 77). Saturni peamisel kaaslasel Titaanil ja Neptuuni esimesel kaaslasel Triitonil on, erinevalt teiste planeetide kaaslastest, ka atmosfäär, millel on sama koosseis mis hiidplaneetide atmosfäärilgi.

42. Väikesed planeedid — asteroidid. Väikestest planeetidest kõige suurema — Cerese (avastatud 1801. a.) läbimõõt on umbes 800 km, ülejäänud on aga väiksemad, enamikus läbimõõduga mõned kilomeetrid. Sellise väikese planeedikese võib mahutada mõne suure pargi territooriumile. Palja silmaga väikesi planeete



Joon. 80. Väikeste planeetide Erose ja Hermese orbiidid.



Joon. 81. Ühe väiksema asteroidi suurus.

taevavõlvil üles ei leia. Et asteroidide külgetõmbejõud on väike, siis atmosfäär neil puudub.

Enamiku asteroidide orbiidid asuvad Marsi ja Jupiteri orbiitide vahel. Mõnede asteroidide orbiidid on ülimalt väljavenitatud, piklikud, ja, tiireldes ümber Päikese, lõikuvad Marsi orbiidiga ning tulevad Maale lähemale kui Marss (joon. 80). Mõningate asteroidide orbiidid lõikuvad isegi Maa, Veenuse ja Merkuuri orbiidiga.

Tänapäeval tuntakse juba üle 1600 asteroidi, kusjuures iga aasta avastatakse uusi, väiksemaid asteroide.

43. Komeedid, nende liikumine ja loomus. Sõna «komeet» tuleneb vana-kreeka keelest ja tähendab tõlkes «karune täht». Nõrgad komeedid, mis on sageli nähtavad ainult pikksilmas, sarnanevad ümmarguse või pikliku helendava udulaiguga, milles võib eraldada eredamat tihendit — nn. komeedi tuuma (joon. 82). Nii näevad välja kõik komeedid, kui nad asuvad Päikesest kaugel ruumis. Päikesele lähenedes muutub komeet heledamaks ja tema udukest venitatakse välja Päikesele vastupidises suunas — nii moodustub komeedi saba. Tuuma ümbritsevat udukesta nimetatakse komeedi peaks. Heledad komeedid on hästi nähtavad ka palja silmaga. Suurte komeetide saba ulatub helendava sirgjoonena või kõverdunud vöödina peaaegu üle poole taevalaotuse.

Vanematel aegadel kutsus sabaga komeedi ootamatu ilmumine harimata inimeste seas esile ebauskliku hirmu. Nad pidasid komeedi ilmumist sõdade, epideemiate ja muude hädade ennustajaks. Usklikud inimesed nimetasid komeeti «jumala viha teatajaks». Astronoomia selgitas komeetide füüsilise loomuse ja nende liikumise seadused, purustades lõplikult nende ilmumisega seotud ning ebausust tingitud arvamused ja legendid.



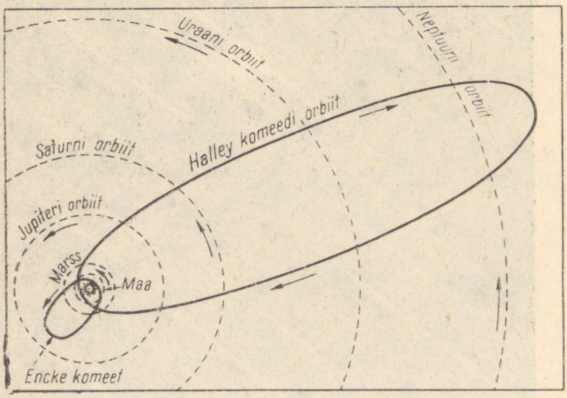
Joon. 82. Nõrga komeedi foto. Fotografeerimisel jälgis kaamera komeeti, mistõttu tähtede kujutised tulid heledate joontena.

Komeedid on päikesesüsteemi osadeks, enamik neist tiirleb ümber Päikese mööda väga piklikke ellipseid. Nende tiirlemisperioodide kestus on mitmesugune — mõnest aastast kuni kümnete tuhandete ja enam aastateni. Maast ja Päikesest kaugel asuvad komeedid on meile nähtamatud, ja ainult siis, kui nad meile lähenevad, on neid võimalik vaadelda. Ühe komeedi perioodilise lähenemise Päikesele ja Maale avastas esimesena inglise teadlane Halley XVII sajandil. Ta tegi kindlaks, et see komeet liigub, nagu planeedidki, gravitatsiooniseaduse kohaselt ja läheneb Päikesele iga 75-aastase vaheaja järel. Halley arvutas välja selle komeedi tee ruumis ja teatas tema järgmise ilmumise aasta. Tema ennustus läks hiilgavalt täide ja seda komeeti hakati nimetama Halley komeediks. Viimasel korral nähti teda 1910. a., uuesti on ta nähtav 1985.—1986. a. (joon. 83).

Tähistaeva foonil muudavad komeedid pidevalt, päevast päeva, oma asendit (sarnaselt planeetidega) ja jäävad nähtavaks mõneks nädalaks või kuuks. Vaadeldes iga komeedi pidevat asendi muutust tähistaeva foonil, arvutavad astronoomid välja tema orbiidi kuju, suuruse ja asendi ruumis ning tema tiirlemisperioodi. Selle põhjal ennustavad nad komeedi järgmise ilmumise aja ja nähtava tee taevalaotuses. Need komeedid, millel on pikk tiirlemisperiood ja mis lähenesid Maale ja Päikesele enne komeetide teadusliku uurimise algust, ilmuvad meile ootamatult, kuid tulevikus tehakse kindlaks ka nende liikumine.

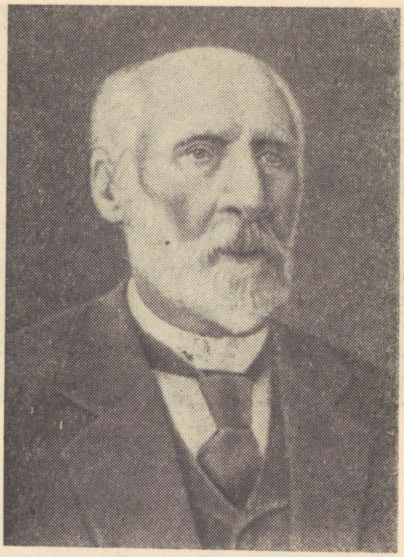
Lühikese tiirlemisperioodiga komeetide afeelid asetsevad Jupiteri orbiidi lähedal, pika tiirlemisperioodiga komeetide afeelid aga jäävad kaugele väljapoole Pluuto orbiidi piire. Periheelis liiguvad komeedid ümber Päikese Maa orbiidi lähedal, mõnikord on nad aga Päikesele hoopis lähedal.

Käesoleval ajal avastavad ja vaatlevad astronoomid iga aasta mitmeid komeete, mis on nähtavad ainult läbi teleskoobi. Nõukogude teadlaste poolt on avastatud palju komeete.



Joon. 83. Halley ja Encke komeedi orbiidid.

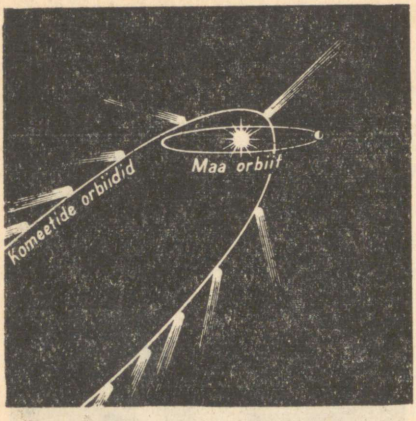
F. Bredihhin.



Kuulus vene teadlane F. Bredihhin (1831—1904) uuris komeetide sabade (mis on suunatud Päikesest eemale) kuju. Ta tegi kindlaks, et komeedi tuumast paiskuvad kogu aeg välja väikesed osakesed. Neile mõjub Päikese tõukejõud. Seetõttu need osakesed eemalduvad Päikesest ja tuumast ning nii tekibki osakeste vool, mida meie vaatleme kui komeedi saba (joon. 84). Bredihhin tõestas, et sirge saba puhul ületab Päikese tõukejõud osakestele mõjuva tõmbejõu kümne- ja enamkordselt. Mõõgakujuliselt kõverdunud sabades on tuumast väljapaiskunud osakestele mõjuvad tõuke- ja tõmbejõud teineteisega võrdsed. Bredihhin selgitas veel paljusid teisi komeetidega seoses olevaid nähtusi.

Tuntud vene füüsik P. Lebedev (1866—1912) näitas, et komeedi saba osakeste eemaletõukamine toimub ilmselt päikesevalguse rõhu tõttu. Lebedev tõestas valguse rõhu olemasolu, mille mõju suurtele tolmuosakestele, võrreldes nende raskusjõuga, on väike, kuid väikestele tolmuk übemekestele ja gaasimolekulidele, millest koosneb komeetide saba, avaldab ta märgatavat mõju. Komeedinähtustes etendavad teatud osa ka elektrilised jõud, millele geniaalse ettenägelikkusega viitas juba M. Lomonossov.

Komeetide uurimine näitas, et suuri tahkeid osakesi leidub ainult komeedi tuumas, kus nad on külmunud gaaside poolt tsementeeritud. Komeedi tuum on külm, ta helendub peegeldunud päikesevalgusest. Komeedi tuuma mass ja läbimõõt on väiksemad kui väikeste asteroidide mass ja läbimõõt. Päikesesoojuse mõjul eraldub tuumast hõredat gaasi, mis moodustab kesta, kui



Joon. 84. Komeedi saba kasvab Päikesele lähenemisel ja on alati suunatud temast eemale.

seda on aga rohkem, siis — komeedi pea ja saba. Vahel eraldab tuum ka peent tolmu.

Komeedi saba pikkus on mõnikord võrreldav Maa ja Päikese vahelise kaugusega ning komeedi pea on sageli Päikesest suurem, kuid nii pea kui ka saba koosnevad äärmiselt hõredast ainest. Seepärast, kui komeet riivab Maad (mida on juba juhtunud), siis ei kujuta see viimasele mingit hädaohtu, olgugi et komeedi pea koosseisu kuuluvad süsiniku ja tsüaani aurud ning tema sabas leidub süsinikhapendit (vingugaasi). Komeedi gaaside suure hõreduse tõttu ei anna nende segunemine Maa atmosfääriga millegagi tunda. Gaaside külm helendus komeetides on põhjustatud tervenisti päikesekiirtest.

Komeetide hulk päikesesüsteemis on tohutu — komeete on niisama palju «kui kalu ookeanis», ütles Kepler.

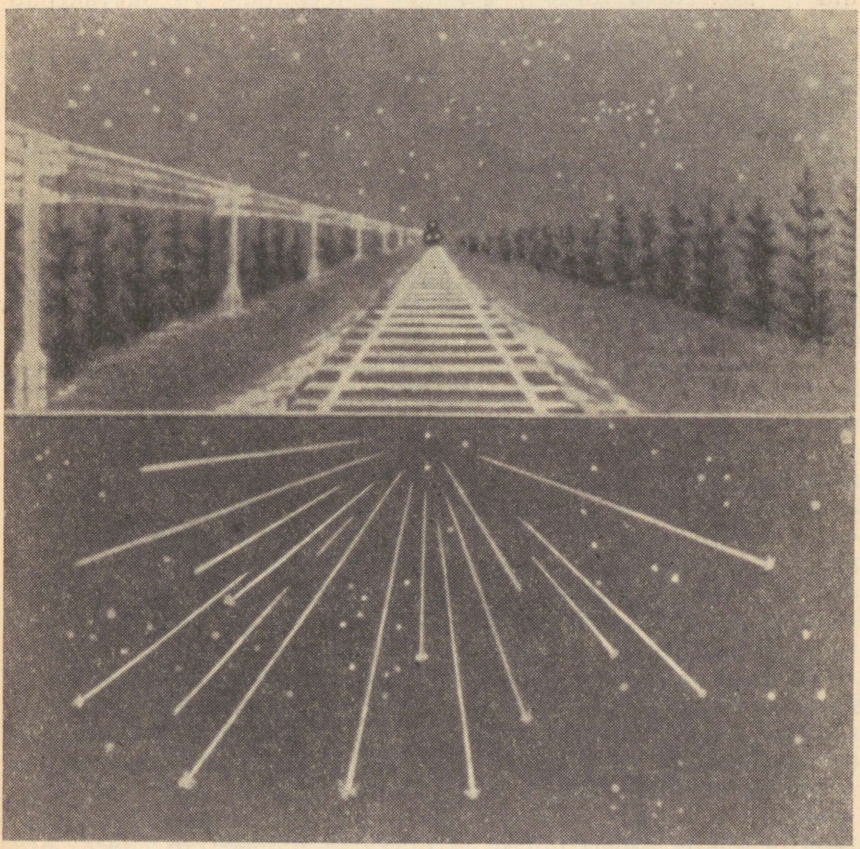
44. Meteoorid ehk lendtähed ja nende seos komeetidega. Lendtähtede nähtus kutsub paljudes inimestes esile ebausklikke kujutlusi. Teadus on teinud kindlaks, et lendtähtede nähtuse põhjustab liivatera või väikese kivikese (nn. metoorkeha) langemine, mis planeetidevahelisest ruumist lendab Maa atmosfääri, kus ta muutub auruks. Meteoorkehad lendavad kiirusega mitukümmend kilomeetrit sekundis. Õhk pidurdab nende liikumist. Nende liikumisenergia muutub soojuseks. Liivatera auruks muutumine ja tema aurude helendumine on põhjustatud liivatera kuumenemisest ja põrkumisest õhumolekulide vastu. Aurud jätavad tema liikumisteele helenduva jälje. See tekitabki meis illusiooni lendavast (langevast) tähest. Meteooride auruks muutumine toimub enamasti 80—170 km kõrgusel Maa pinnast.

Mõnedel öödel, näiteks 10.—12. augustil, võib iga aasta näha hulgaliselt meteoore. Neil juhtudel võib tähele panna, et meteoo-

rid lendavad välja nagu ühest punktist, mida nimetatakse radiandiks. Radiandil on oma kindel koht keset tähtkujusid ja ta võtab koos nendega osa tähistaeva ööpäevasest pöörlemisest. See tõendab, et meteoorid lendavad planeetidevahelisest ruumist ja liiguvad seal paralleelsetes suundades.

Meteooride nähtavate teede lähtumine ühest punktist on perspektiivne nähtus. Siin on analoogia teineteisega paralleelselt kulgevate raudteeröömetega, mis kauguses näivad liituvat (joon. 85).

Meteooriosakeste orbiidid langevad ruumis ühte mõnede komeetide orbiitidega. Seos meteooride ja komeetide vahel saab veelgi selgemaks järgmisest näitest.



Joon. 85. Meteooride vihm ja nende perspektiivne koondumine radiandis.

1846. a. pandi tähele, et tšehhi astronoomi-asjaarmastaja Biela poolt avastatud komeet lagunes kaheks osaks, mis liikusid teineteise järel.

Taolist komeedi lagunemist osadeks vaadeldi ka hiljem. Kuid 1872. a. ei õnnestunud Biela komeedi osi nende lähenemisel Päikesele enam näha. Arvutuste järgi pidi komeedi tuum novembris mööduma Maa lähedalt või sellega isegi kokku põrkama. Neil päevil, 1872. a. novembris, pandi tähele ebaharilikult rikkalikku meteooride sadu, millede orbiit ühtis varem osadeks lagunenud ja seejärel kadunud komeedi orbiidiga. On selge, et komeedi tahke tuum purunes liivaterade pilveks, mis hajus mööda endist orbiiti ja põrkas kokku Maaga. Siit nähtub, et kui Maa põrkab kokku otse komeedi tuumaga (mida juhtub äärmiselt harva), siis ei ähvarda Maad mingi hädaoht, ainult võib tähele panna meteooride sadu ja võib-olla langevad Maale ka mõned suuremad tuumatükid. Komeedid on haprad ja võrdlemisi lühikest aega püsivad taevakehad.

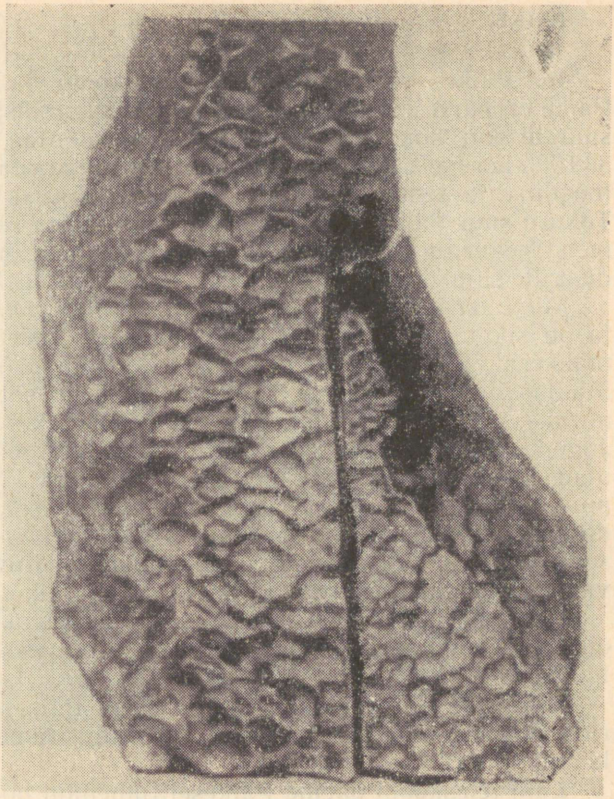
45. Boliidid ja meteoriidid. Vahel võib taevas näha lendamas eredat tulikera, mis jätab enda järele suitsu- või tulejoa ja pillub sädemeid. Sellist lendavat tulikera nimetatakse *boliidiks*. Teda ei tule segada aeglaselt ja madalalt lendava keravälguga. Ebausklikud inimesed pidasid minevikus selliseid tulikerasid «lendmadudeks» ja draakoneiks.

Boliid kujutab endast planeetidevahelisest ruumist Maa atmosfääri tunginud suurt kivi, mis helendab samadel põhjustel kui meteoorkehagi. Selline kivi ei jõua aga auruks muutuda, sest ta on tublisti suurem. Sageli lõpeb boliidi lend pikselööki meenutava raksatusega ja *meteoriidina* Maa pinnale langemisega. Meteoriidiks nimetatakse Maa pinnale kukkunud maavälise tekkega kivi või rauatükki. Meteoriidid sarnanevad maapealsete kividega, paljud koosnevad aga rauast ning raua ja kivi segust (joon. 86). Taevast kukkunud kivi — meteoriit — on sageli seotud mõne usundilise legendiga. Nii peavad näiteks muhameedlased «pühaks» Mekas asuvat suurt meteoriiti, mida nad nimetavad «mustaks kiviks» (Kaaba) ja mida nad käivad kummardamas. Must koorik meteoriidi pinnal tekib tema sulamisel lennu ajal.

Maapinnale langemisel jõuab meteoriidi õhuke koorik jahtuda, sest õhutakistuse mõjul kaotab ta teekonna lõpul oma suure kiiruse, mille mõjul ta tugevasti kuumenes.

Meie maal on meteoriidid riigi omandiks ja kuuluvad üleandmisele teaduslikele asutustele, kus on loodud rikkalikud meteoriitide kollektsioonid. Kõige suuremad meteoriidid kaaluvad kümneid tonne. Mõnikord purunevad meteoriidid langemisel tükkideks, esineb isegi tervet kivivihma.

Üks eriti suur meteoriit (nn. Tunguusi meteoriit) langes 1908. a. maha Siberi taigas ja purustas ümberringi suures ulatuses metsa. Kuna ta lendas määratu kiirusega ja avaldas ees ole-



Joon. 86. Raudmeteoriit «Boguslavka».

vale õhule väga tugevat survet, siis kokkupõrkel maapinnaga muutus ta silmapilkselt auruks, otsekui plahvatas. Tema jäänuseid pole hiljem õnnestunud leida.

Teine (Sihhote-Alini) meteoriit langes maapinnale 1947. a. Kaug-Idas. Ka tema lagunes langemisel, kuid tema killud jäid terveks ja suuremad neist tekitasid mürsuaukudega sarnanevaid lehtreid.

Meteoriitide uurimine on näidanud, et neis leidub neidsamu keemilisi elemente, mida tuntakse ka Maal. Meteoriidid osutuvad nähtavasti teiste taevakehade kildudeks. Nende keemiline analüüs tõendab universumi materiaalset ühtsust ning kummutab religioossed väljamõeldised Maa ja taeva erinevusest. Meteoriidid — taevakivid — ei erine printsipiaalselt mitte millegi poolest paljudest maapealsetest kivimitest; neis pole midagi imepärast ega loodusevastast.

46. Päike vaadatuna läbi teleskoobi ja tema pöörlemine. Päike on päikesesüsteemi keskseks kehaks. Massilt on ta 750 korda suurem kui kõik planeedid ühtekokku; Maa massi ületab ta 332 000-kordselt. Päikese läbimõõt on 109 korda suurem Maa läbimõõdust ja tema sisse mahuks kogu Kuu orbiit (vt. joon. 73). Tohutu suur päikesekera näib meile väiksena seepärast, et ta asub meist peaaegu 150 000 000 km kaugusel, mis on Päikese läbimõõdust üle saja korra suurem.

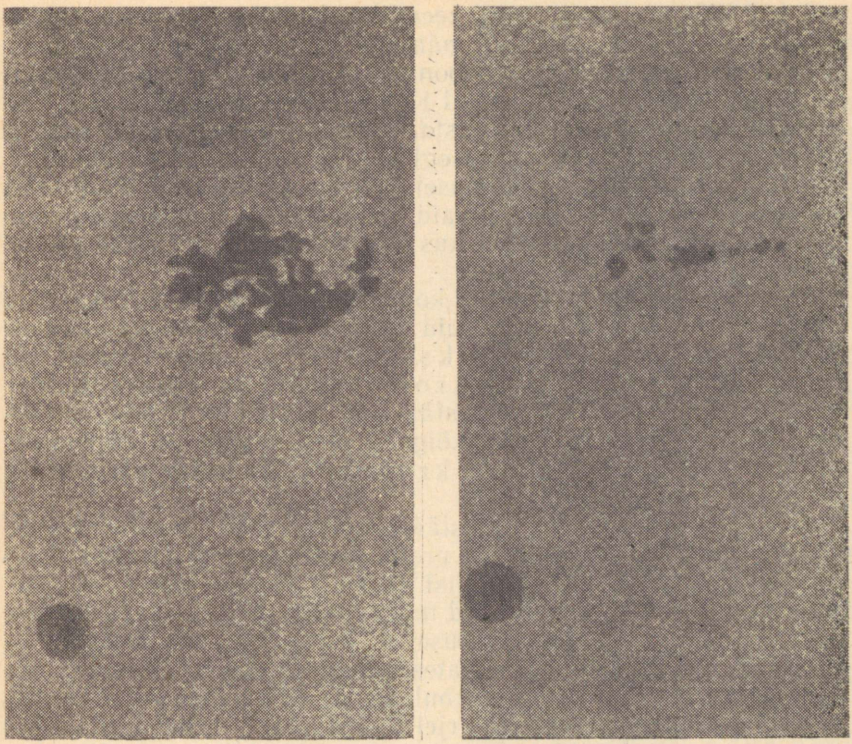
Päike on ainuke isehelendav taevakeha meie päikesesüsteemis, ta on soojus- ja valgusallikaks kõigile planeetidele, elu allikaks maakeral. Ilma Päikeselt saadava valguse ja soojuseta oleks elu Maal võimatu. Päike soojendab õhku ja vett, muutes viimase auruks, — seega põhjustab vee ja õhu ringkäiku maakeral Päike. Jõgede vool, mille energiat kasutatakse hüdroelektrijaamades, vihmad ja teised taolised nähtused toimuvad kõik Maale langeva päikeseenergia toimel. Suur osa päikeseenergiast hajub planeetidest möödumisel maailmaruumi. Kivisüsi (kivistunud taimejäänused) kujutab endast samuti maapõues peituvat päikeseenergia varu, sest taimed kasutavad kasvades ju päikeseenergiat.

Vaatlused teleskoobiga ja teised teadusliku uurimise meetodid on selgitanud Päikese tõelise olemuse, milles pole midagi jumalikku.

Päikese vaatlusel teleskoobiga tuleb Päikese kujutis projitseerida ekraanile või vaadata teda läbi väga tumeda klaasi, vastasel korral võib rikkuda nägemise.

Läbi teleskoobi näeme Päikesel tumedaid laike, mis sageli asetsevad gruppidena (joon. 87). Nende nähtava nihkumise tõttu päikesekettal veendume, et Päike pöörleb ümber oma telje. Kuid ta ei pöörle nagu tahke keha: mida kaugemale ekvaatorist, seda pikemaks muutub pöörlemisperiood. Päikese ekvaatoril teostub täispööre tähtede suhtes 25 ööpäevaga, pooluste lähedal kulub selleks aga rohkem kui 30 ööpäeva. Et Maa liigub oma orbiidil samas suunas, milles pöörleb Päike, siis näivad maapealsele vaatlejale Päikese mitmesuguste võötmete pöörlemisperioodid veidi pikematena, ekvaatoril näiteks 27 ööpäeva.

Kirjeldatud Päikese pöörlemise iseloomust selgub, et Päike peab olema kas vedel või gaasiline keha, mitte aga tahke. Päikese keskmine tihedus on 1,4 $\frac{g}{cm^3}$ (seega veidi suurem kui veel). Päikese pinna kõrge temperatuur (6000°) ja spektraalanalüüsi andmed räägivad aga sellest, et Päike koosneb gaasidest. Päikese suur keskmine tihedus seletub tema sisemuses valitseva kõrge rõhuga, kus gaasid, vaatamata suurele tihedusele, säilitavad oma omadused. Päikese väline kiht on hõredam kui õhk Maa pinna lähedal, keskosas on aga gaasid mitu korda tihedamad kui vesi.



Joon. 87. Muutused päikeseplekkide grupis ühe ööpäeva jooksul. (Must ring kujutab Maad samas mastaabis.)

Tiheduse ja temperatuuri muutumise Päikese sisemuses tegid teadlased kindlaks arvutuste teel, võttes arvesse füüsika seadusi, Päikese massi ja mahtu ning vaatlusandmeid Päikese pinnal valitsevate tingimuste kohta. Leiti, et Päikese sisemuses ulatub temperatuur 13 milj. kraadini. Päikese nähtavat pinda nimetatakse fotosfääriks (kreeka k. *fotos* tähendab *valgus*).

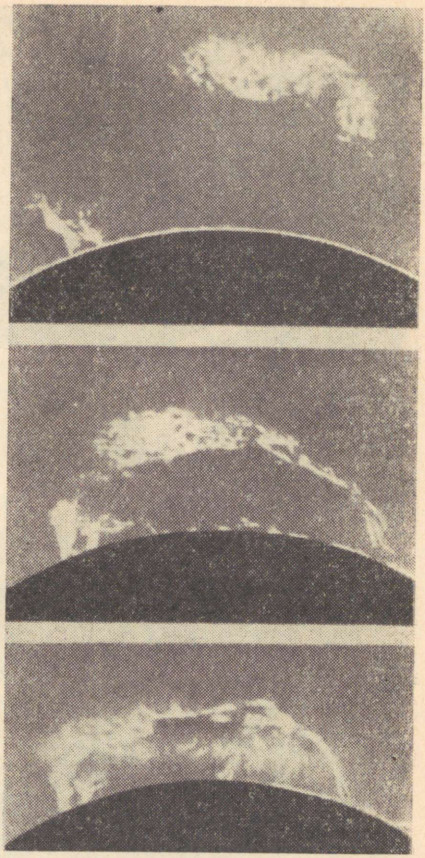
Fotosfäär paistab teleskoobis teralisena. Üksikud «terakesed» — graanulad, millest koosneb Päikese fotosfäär, on hõõguvate gaaside pilved. Graanulad vahetpidamata tekivad ja kaovad. Tumedad laigud on Päikese pinna jahtunud osad. Neid ümbritsevad sageli heledad täpikesed, mida nende sarnasuse tõttu (kujult ja heleduselt) tõrviku leegiga nimetatakse fakliteks. Faklid on paremini nähtavad Päikese äärtel.

47. Päikese atmosfäär ja keemiline koostis. Tavalistes tingimustes on Päikese atmosfäär nähtamatu, sest tema helendumine on liialt nõrk päevase taeva fooniga võrreldes, millele ta projitseeritakse. Päikesevarjutuse ajal Kuu varjab heleda fotosfääri, päikesekiired enam õhku ei valgusta, taeva foon tumeneb ja Päikest ümbritsev atmosfäär muutub isegi paljale silmale nähtavaks. Eriliste aparaatide abil saab viimasel ajal uurida Päikese atmosfääri mitte ainult varjutuste kestel, vaid igal soovitud ajal (kõige parem on teostada vaatlusi mägedes, kus õhk on puhtam ja taevas päeval tumedam).

Päikese atmosfäär koosneb kolmest kihist. Fotosfäärile kõige lähemat ja kõige tihedamat, kuid väga õhukest kihti nimetatakse ümberpööravaks kihiks. Järgmist, ulatuslikumat ja hõredamat kihti nimetatakse kromosfääriks (kreeka k. *kromos* tähendab *värvus*). Kromosfäär on punaka varjundiga. Kolmandat, Päikese atmosfääri kõige ulatuslikumat ja hõredamat kihti nimetatakse Päikese krooniks. Ta näib pärlmutriliselt hiilgava helendusena.

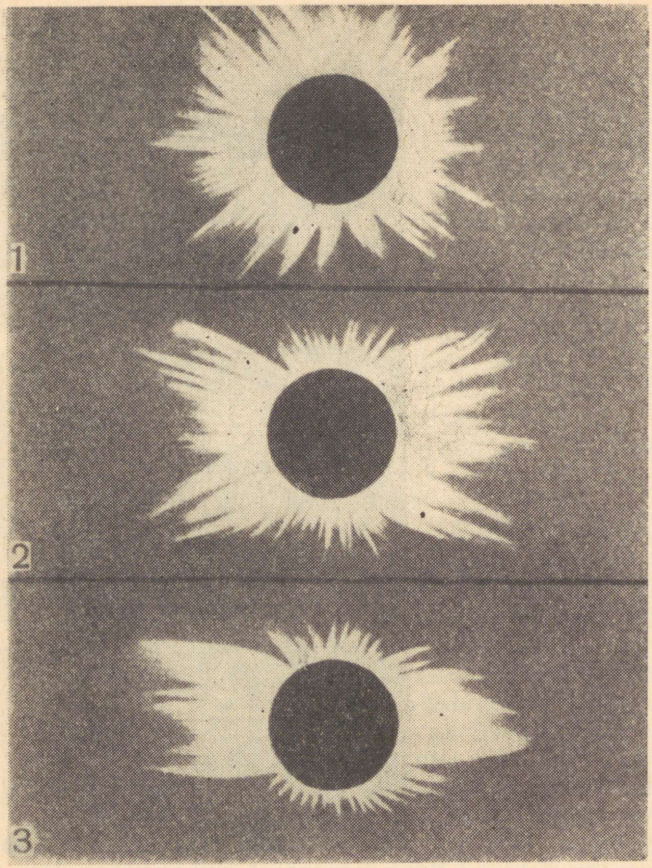
Aeg-ajalt paiskuvad kromosfäärist hõõguvate gaaside pilved (fontäänid), mida nimetatakse protuberantsideks (joon. 88). Kõrgele üles paiskunud protuberantsi gaasid laskuvad mõne aja möödudes alla ja sageli helendavad nad eredalt ainult selle laskumise ajal. Mõned protuberantsid tõusevad kõrgusele, mis ületab Päikese raadiuse. Päikesel toimuvates nähtustes etendavad suurt osa gaaside vertikaalsed (eriti turbulentsed) liikumised, aga samuti magnetilised jõud. Selle tagajärjel tekivad tihti protuberantsid kui ainese tihenemised Päikese kroonis, mis seejärel liiguvad mitte üles, vaid alla Päikese pinna poole. Ümberpöörav kiht ja kromosfäär koosnevad hõredatest gaasidest, mille temperatuur on madalam kui fotosfääril (umbes 5000°). Seepärast neelavad kromosfäär ja ümberpöörav kiht fotosfääri poolt kiiratud valgusest teatud pikkusega laineid ja põhjustavad Päikese spektris tumedate joonte tekkimise. Päikese äärel, kus ümberpöörava kihi ja kromosfääri taga puudub pidevat spektrit andev valgusallikas, näeme nende oma spektrit, mis koosneb heledatest joontest. Need heledad jooned asuvad just neis ümberpöörava kihi spektri osades, kus nad teistes tingimustes esinevad fotosfääri pidevas spektris tumedate joontena. Spektri tumedaid jooni nimetatakse nende avastaja, saksa teadlase Fraunhoferi nime järgi Fraunhoferi joonteks. Ümberpööravа kihi spektris muutuvad (pööratakse ümber) nad tumedatest heledateks, millest see kiht on saanud ka oma nimetuse. Kromosfäär, olles ümberpööravast kihist hõredam, ei koosne mitte kõigist neist keemilistest elementidest, mis kuuluvad viimase koostisse, vaid kergemaist ja Päikesel toimuvate protsesside juures kergemini eralduvaist elementidest. Nendeks on peamiselt vesinik, heelium ja kaltsium.

Seega, tehes Päikese atmosfääri mitmesuguste kihtide spektri



Joon. 88. Protuberantside muutumine nelja tunni jooksul (piltidel alt üles).

heledate joonte või Päikese üldise spektri tumedate joonte järgi kindlaks Päikese keemilise koostise, saame teada just Päikese atmosfääri (mitte aga tema sisemuse) keemilise koostise, sest tumedad jooned on kutsutud esile valguse neeldumisega atmosfääri gaasides. Kuni praeguse ajani on Päikese atmosfääri moodustavate gaaside seas kindlaks tehtud umbes $^2/_3$ meile tuntud keemiliste elementide olemasolu. Nende elementide aatomitest moodustavad üle 80% kõige kergema gaasi — vesiniku aatomid, umbes 18% langeb heeliumi arvele, kuna ülejäänud elementide aatomeid on suhteliselt väga vähe. Päikesel seni avastamata elemente leidub ka Maal väga vähesel hulgal ja neid elemente, mida ei tunta Maal, ei leidu ka Päikesel. See tõendab veelkordselt Maa ja teiste taevakehade materiaalset ühtsust, füüsika- ja keemiaseaduste ühtsust kogu universumis.



Joon. 89. Päikese kroon: 1) kui plekke on palju; 2) keskmises staadiumis; 3) kui plekke on vähe.

1868. a. avastati Päikese spektris kollane joon, mida siis ei olnud veel leitud maapealsete ainete spektrites. See omistati erisugusele ainele, mis nimetati heeliumiks (kreeka k. *helios* tähendab *päike*). Hiljem avastati heelium ka Maal.

Päikese kroon (joon. 89) koosneb peamiselt elektriseeritud gaasidest ja elektronidest, mis peegeldavad Päikese valgust. Heledatest joontest koosnevat gaaside spektrit krooni siseosas ei suudetud kaua lahutada. Alles võrdlemisi hiljuti selgitati, et see on meile juba tuntud elementide, peamiselt raua, nikli ja kaltsiumi spekter, millede aatomid on lahutatud paljudeks elektronideks ja helenduvad erilistes tingimustes, mis esinevad Päikese kroonis ja mis puuduvad Maal valitsevais looduslikes tingimustes.

Heeliumi ja Päikese krooni spektri joonte mõistatus on näide selle kohta, et varem või hiljem leiab teadus selgituse igale nähtusele, kui saladuslik ja lahendamatu see algul ka ei näiks.

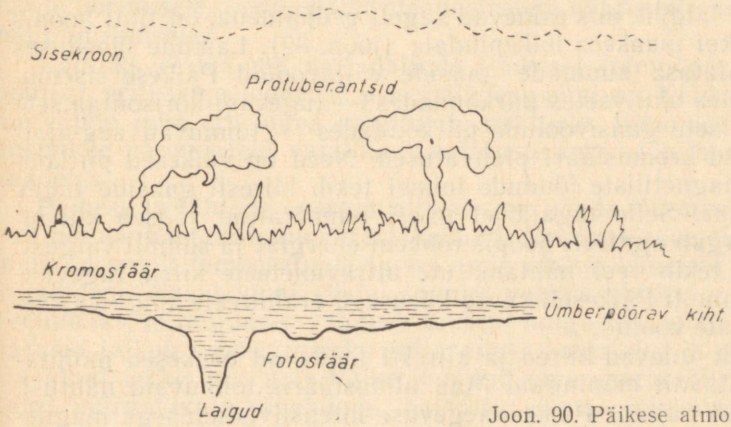
Päikese osad — fotosfäär, ümberpöörav kiht ja kromosfäär (joon. 90) — on niivõrd kõrge temperatuuriga, et nad koosnevad üksnes keemiliste elementide aatomeist. Ainult laikude ümbruses, kus temperatuur on madalam (kuni 4500°), võivad aatomid liituda lihtsaimateks keemilisteks ühenditeks — kaheaatomilisteks molekulideks (tsüaan, süsinikhapend, titaanhapend jt.).

Kõrgema temperatuuri ja tugeva rõhu korral võivad isegi kõige lihtsamad molekulid laguneda koostisosadeks — aatomiteks.

Maa orbiidi tasapinnas on Päike ümbritsetud õhukese pideva tolmukihiga, mis peegeldab päikesevalgust. Selle tagajärjel me näeme pärast päikeseloojangut või enne koitu piki ekliptika tasapinda pikka koonusetaolist helendust, mis lähtub Päikesest ja mida nimetatakse zodiaagivalguseks. See on paremini nähtav troopikamaades, kus ekliptika lõikub horisondiga suure nurga all.

48. Päikese energia kiirgumine ja Päikese tegevuse perioodilisus. 1. Päikesekiirgus ja solaarkonstant. Maakera haarab ainult tühise osa Päikese poolt kiiratud üldisest energiast. Teades Maa suurust ja kaugust Päikesest, saame välja arvutada, kui suur see osa on. See moodustab $^1/_{2\,000\,000}$ Päikese koguenergiast. Mõõtes Maale langeva päikeseenergia hulga, võime välja arvutada ka Päikese poolt kiiratava üldise energiahulga.

Solaar- (ehk päikese-) konstandiks nimetatakse päikeseenergia hulka, mida saab ühes minutis Maa 1 cm² suurune pind, mis asetseb risti päikesekiirtega keskmisel kaugusel Päikesest. Solaarkonstandi määramisel arvestatakse päikeseenergia osalist neeldu-



Joon. 90. Päikese atmosfääri ehitus.

mist Maa atmosfääris. Solaarkonstandi suuruseks on 1,94 kalorit. See tehakse kindlaks vee soojendamisega teatud aja jooksul vastavas anumas, mis on avatud päikesekiirtele.

Teades solaarkonstandi suurust, kaugust Päikesest ja Päikese suurust, võime välja arvutada Päikese pinna temperatuuri. Tulemus on kooskõlas tema määramise teiste viisidega. Need andmed näitavad, et Päikese energia on niivõrd suur, et kui Päikest ümbritseks 14 m paksune jääkiht, siis tema poolt kiiratav soojus sulataks selle jääkoore ühe minuti jooksul.

2. Päikese tegevus ja laigud. Päikese ekvaatorist põhja ja lõuna pool võib õige sageli tähele panna tumedate laikude ilmumist. Nad ilmuvad, ja eksisteerinud mõned päevad, harvem mõned kuud, kaovad. *Laigud on fotosfääri osad, kus gaasid on jahtunud kuni 4500°-ni ja mis näivad tumedatena ainult kontrasti tõttu neid ümbritseva kuumema ja seetõttu ka heledama pinnaosaga.* Gaasid on siin aeglases keeriselises liikumises ja tekitavad tugeva magnetvälja, sest laigus liikuvad gaasid on elektriseeritud.

Laigud esinevad sageli paaridena. Osutub, et sellistes paarides ühel Päikese poolkeral esineb esimene laik ühe magnetpoolusena (näiteks lõuna-) ja teine vastaspoolusena. Teisel Päikese poolkeral asetsevad magnetpoolused kõigis laikude paarides vastupidiselt. Nii kestab see umbes 11 aastat, mille järel poolused vahetavad laikude paarides oma kohad. Näiteks esimene laik muutub põhjapoolusest lõunapooluseks jne.

Üheteistkümneaastase perioodiga muutuvad laikude arv ja nende poolt haaratud pindala suurus, aga samuti vaadeldavate protuberantside arv ja paljud teised nähtused Päikesel, nagu Päikese krooni kuju jne. Keskmiselt iga 11 aasta järel saavutavad laikude arv, nende poolt hõlmatav pindala ja protuberantside arv maksimumi, aga niisama vahelduvad nende miinimumid. Laikude pooluste vahetus toimub miinimumi aastal.

Päikese laigud, mis esinevad sageli gruppidena, on tihti hoopis suuremad kui maakera lõikepindala (joon. 89). Laikude läheduses esinevad alatasa kuumade gaaside väljavoolud Päikese sisemusest. Sellistes aktiivsetes piirkondades — tugevate horisontaalsete ja vertikaalsete gaasivoolude piirkondades — toimuvad aeg-ajalt niinimetatud kromosfääri plahvatused. Need on väikesed piirkonnad, kus magnetiliste jõudude toimel tekib kiiresti gaaside tugev kokkusurutus. Selle tagajärjel gaasi temperatuur tõuseb kiiresti ning ta kiirgab ajutiselt hoopis rohkem energiat ja samuti valgust. Sealjuures tekib veel nähtamatute ultravioletsete kiirte tugevdatud vool, samuti Päikeselt suure kiirusega eralduvate kõige väiksemate osakeste voolud.

Päikeselt tulevad kiired ja kiiresti lendavad osakesed mõjutavad märgatavalt mõningaid Maa atmosfääris toimuvaid nähtusi. Nii suureneb näiteks Päikese tegevuse intensiivistumisega magne-

tiliste tormide (kompassi magnetnõela kiire võnkumine) ja virmaliste arv, halveneb raadiosaadete vastuvõtmine jne.

3. Virmalised. Põhjapoolkeral näeme öösiti põhjataevas sageli virmalisi ning seda selgemini ja tihedamini, mida kaugemal me Maa ekvaatorist asume. Mõnikord on virmalised nähtavad veel Moskva laiusel ja isegi Põhja-Aafrikas. Lõunapoolkeral näeb virmalisi lõunataevas.

Teadus on kinnitanud M. Lomonossovi geniaalset mõtet, et *virmalised kujutavad endast Maa atmosfääri külma elektrilist helendust sadade kilomeetrite kõrgusel maapinnast.* Selle helenduse olemus sarnaneb hõrendatud gaaside helendusega klaastorus elektrivoolu toimel. Maa atmosfääri kõrgetes kihtides hakkab õhk helenduma tema pommitamisel väikeste osakestega, eriti just Päikese aktiivsetest piirkondadest väljapaiskunud elektronidega. Maa magnetväli kallutab need osakesed, kui nad lähenevad Maale, teest kõrvale, nii et need osakesed satuvad meie atmosfääri enamasti ikka Maa magnetpooluste läheduses. Seetõttu esinevadki virmalised just polaaraladel. Päikese ultravioletne kiirgus ja päikese poolt väljapaisatud osakesed, mis pommitavad meie atmosfääri, muudavad selle elektrijuhtivust ja teisi omadusi, millest sõltub raadiosaadete vastuvõtmise puhtus ja tugevus.

Päike ise ja tema kroon saadavad välja raadiolaineid. Selle kiirguse võimsus kõigub tugevasti.

Päikesekiirguse muutuste mõju paljudele nähtustele maakeral on üsna mitmesugune, kuid senini pole seda veel küllaldaselt uuritud.

4. Päikese uurimise tähtsus ja Päikese energiaallikad. Kõik eespool öeldu näitab nähtuste vastastikust seost kogu universumis, näitab, et Päikese uurimine on vajalik praktilisteks eesmärkideks — täpsemaks ilmade ennustamiseks, võitluseks häiretega raadiosaadetes jne. Seetõttu on Nõukogude Liidus pööratud suurt tähelepanu päikesenähtuste teaduslikule uurimisele, nende poolt maapealsetele nähtustele avaldatava mõju uurimisele.

Kahjuks ei tea me veel paljude Päikesel toimuvate nähtuste põhjusi, eriti tema tegevuse perioodilisuse põhjusi. Kuid mõnikord me võime juba ette näha mõningate nähtuste ilmumist ja anda kasulikke näpunäiteid vajalike muudatuste kohta lühilaine raadiosaadetes.

Päikese ja tähtede energia allikaks on nende sisemuses toimuvad nõndanimetatud tuumareaktsioonid. Need reaktsioonid on võimalikud ainult temperatuuri juures, mis ulatub kümnete miljonite kraadideni. Reaktsiooni kestel toimub vesiniku pidev muutumine heeliumiks, mille juures vabaneb tohutul hulgal energiat. Vesiniku varusid jätkub veel paljudeks miljarditeks aastateks, ja sest ajast, kui Maal tekkis elu, pole Päike jõudnud oma energiakiirgust veel kuigi märgatavalt vähendada. Seetõttu ei oma küsimus Päikese

energiaallikate lõppemise kohta inimkonna suhtes vähimatki praktilist tähtsust.

Suur praktiline tähtsus on aga teisel küsimusel — küsimusel selle päikeseenergia, mida saab Maa, täielikumast ärakasutamisest. Siin oleme me saavutanud veel väga vähe, olgugi et viimastel aastatel on püstitatud rida seadeldisi suurte peeglitega, mis koguvad päikesesoojust vee kuumutamiseks, näiteks aurumasinate ja sulatusahjude juures. Viimastes saavutatakse metallide sulatusel kuni 3000° temperatuure. On ehitatud veel teisi Päikese energiat kasutavaid seadeldisi. Päikese energiat saab akumuleerida veel õige mitmel viisil, muutes ta näiteks elektrokeemiliseks energiaks. Taoliselt kasutatakse Päikese energiat Maa kunstlikes kaaslastes ja kosmoserakettides.

IV peatükk.

TÄHED JA TÄHESÜSTEEMID. UNIVERSUMI EHITUS.

49. Aastaparallaks ja tähtede kaugused. Eespool on selgitatud, mis on aastaparallaks ja kuidas seda mõõdetakse. Kui tähe aastaparallaks (p) on täpsete ja hoolikate mõõtmiste varal kindlaks tehtud, siis saab kohe määrata tähe kauguse D:

$$D = \frac{a}{\sin p},$$

kus a on Maa orbiidi raadius. Et p on väga väike, siis väljendades teda kaaresekundites, võib kirjutada

$$D = \frac{a}{p'' \cdot \sin 1''}.$$

Kui a võtta üheks, siis, teades, et $\sin 1'' = \frac{1}{206\,265}$, saame:

$$D = \frac{206\,265}{p''} \text{astr. ühikut.}$$

Tähtede kaugused, arvestades nende tohutut suurust, väljendatakse harilikult valgusaastais või parsekites.

Valgusaasta on kaugus, mille valguskiir läbib aasta jooksul. Et väljendada seda kilomeetrites, tuleb valguse kiirus korrutada sekundite arvuga aastas.

Parsek on kaugus, mis vastab aastaparallaksile üks kaaresekund; see on kaugus, millelt Maad Päikesega ühendav sirglõik paistab nurga all 1″.

Tähe kaugus D parsekites on selle tähe kaaresekundites väljendatud aastaparallaksi p pöördväärtus:

$$D = \frac{1}{p''}.$$

Näiteks, kui lähima tähe parallaks on $0'',75 = {}^3/_4$ kaaresekundit, siis tema kaugus on ${}^4/_3$ parsekit.

1 parsek = 3,26 valgusaastat = 206 265 astr. ühikut = $= 3 \cdot 10^{13}$ km.

Meile lähima heleda tähe (α Kentauris) valgus tuleb meieni üle 4 aasta, teistelt tähtedelt aga veelgi kauem.

Et kujutleda seda tohutut kaugust, oletame, et Maalt lendab selle tähe suunas reaktiivlennuk kiirusega 1000 $\frac{km}{h}$. See lennuk jõuab täheni alles 4,5 miljoni aasta pärast.

Teised tähed on meist (või, mis on sama, Päikesest) veel palju kaugemal. Paljude tähtedeni on kaugused teadmata — need on niivõrd suured, et nende parallaksid on liialt väikesed, mistõttu neid pole võimalik mõõta. Toetudes lähedaste tähtede parallakside mõõtmisele, on nüüd leiutatud teised tähtede kauguse määramise viisid.

50. Tähtede absoluutne heledus ja liikumine. *Iga täht, sarnaselt meie Päikesega, osutub määratu suureks hõõguvaks ja seetõttu isehelendavaks gaasiliseks keraks.* Kuid tähtede ehituses ja üldse füüsilises olekus esineb ka suur hulk erinevusi.

Erinevused tähtede vahel tulevad kõige ilmekamalt nähtavale, kui me võrdleme tähti Päikesega.

Absoluutseks heleduseks nimetatakse tähe valgustugevuse suhet Päikese valgustugevusega.

Olgu näiteks mõõtmise varal kindlaks tehtud, et mõni täht on meist miljon korda (10^6) kaugemal kui Päike ja et tema näiv valgustugevus on triljon korda (10^{12}) väiksem Päikese valgustugevusest (see täht on tähesuurusega umbes $3^1/_2$). Kui me asetaksime selle tähe kaugusele, mis võrdub meie kaugusega Päikesest, siis ta paistaks meile $(10^6)^2$ korda heledamana, s. t. ta paistaks sama heledana kui Päike. Järelikult omab antud täht tõepoolest niisama suurt valgustugevust kui Päike; tema absoluutne heledus võrdub ühega. Samalaadselt võib arvutada ka teiste tähtede absoluutseid heledusi.

Tähtede absoluutsed heledused on äärmiselt erinevad. Tuntud tähtede hulgas on suurima absoluutse heledusega täht S Kuldkala tähtkujus. Ta paistab 8-nda suuruse tähena, kuid tõeliselt on ta meie Päikesest ligi miljon korda heledam. Kõige väiksema absoluutse heledusega tähed helenduvad Päikesest sajad tuhanded korrad nõrgemini. Oma absoluutselt heleduselt osutub meie Päike

keskmiseks täheks — mitte väga heledaks, kuid mitte ka väga nõrgaks.

Tähtede vastastikused asendid taevas näivad täiesti muutumatutena isegi paljude sajandite kestel. *Tegelikult aga kõik tähed, nende hulgas ka meie Päike, liiguvad, ja pealegi määratu suure kiirusega — kümneid ja sadu kilomeetreid sekundis.* Kuid tähtede äärmiselt suurte kauguste tõttu toimuvad nende asendite muutused Maalt nähtuna väga aeglaselt.

Tähtede liikumisi võib avastada ja uurida kahel viisil: spektraalanalüüsi abil ja tähtede asendite määramise abil taevaskeral.

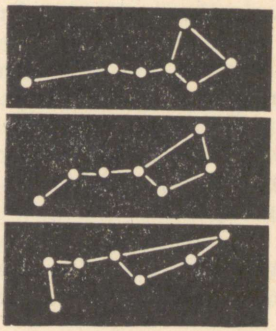
Kui täht liigub meie poole või meist eemale, siis see avastatakse joonte nihkumise põhjal tema spektris (vt. punkt 34). See kiirus määratakse otse kilomeetrites sekundis spektrijoonte nihkumise suuruse põhjal.

Tähe liikumise kiiruse see komponent, mis on risti suunaga, milles me vaatame tähte, spektraalanalüüsi abil ilmsiks ei tule, sest selle liikumise puhul täht meile ei lähene ega kaugene meist. Tähe liikumise kiiruse seda komponenti võib määrata tähe nihkumise põhjal taevaskeral. Seda mõõdetakse kaaresekundites aasta kohta, kui aga tähe kaugus on teada, siis võib seda väljendada ka kilomeetrites sekundi kohta.

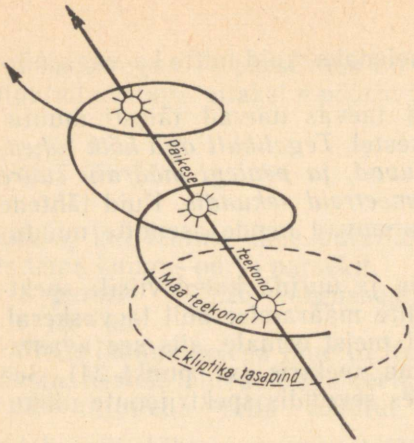
Tähtede nihkumist taevaskeral võib märgata ainult antud taevaala fotode võrdlemise teel, kui need fotod on tehtud mitmeaastase ajavahemiku järel, ja sedagi ainult nende fotode hoolika mõõtmise põhjal mikroskoobi abil. Aja jooksul peavad niisugused tähtede nihkumised muutuma tajutavaks ka paljale silmale. Näiteks Suure Vankri tähtede liikumise tulemusena, igaüks oma eri suunas, nihkuvad need tähed mitmekümne tuhande aasta pärast üksteise suhtes tunduvalt ja Suure Vankri «rataste» asetus muutub nõnda, nagu on näidatud joonisel 91.

Meie päikesesüsteem liigub Lüüra ja Herkulese tähtkuju suunas kiirusega $20\frac{km}{s}$ (joon. 92).

Meenutagem, et tähed tähtkujus on ainult näivalt üksteise lähedal, tõeliselt aga asuvad nad väga suurtes ja väga erinevates



Joon. 91. Suure Vankri seitsme tähe asendi muutumine nende omaliikumise tulemusena: ülal — 50 000 aastat tagasi, keskel — praegusel ajal, all — 50 000 aasta pärast.



Joon. 92. Maa ja Päikese liikumine ruumis tähtede suhtes.

kaugustes nii meist kui ka üksteisest. Seepärast ei saa üldse esitadagi küsimust selle kohta, «millal me lendame nende tähtkujudeni».

Lüüra ja Herkulese tähtkuju tähtedele lähenemisel lähevad need tähed meie ees laiali just nagu puud metsale lähenemisel, mis kaugelt vaadatuna näib meile pideva seinana. Nende tähtkujude piirjooned muutuvad kauges tulevikus täielikult ja Päikese naabriteks osutuvad teised tähed, kuid kaugused nendeni jäävad endiselt äärmiselt suurteks.

Arvestades tähti üksteisest lahutavate kauguste tohutut suurust, ei või olla juttugi Päikese kokkupõrkest mõne tähega. Tähtede kokkupõrkamine on niisama vähe tõenäoline kui teatri või klubi suure saali vastasotstes hõljuva kahe tolmukübeme kokkupõrkamine.

51. Tähtede temperatuur ja mõõtmed. On kerge märgata, et tähed on mitmesuguse värvusega — ühed on valged, teised kollased, kolmandad punased jne. Heledatest tähtedest on näiteks valged Siirius ja Veega, kollane — Kapella, punased — Betelgeuse ja Antaares. Eri värvusega tähtedel on ka erinevad spektrid ja erinevad temperatuurid. Sarnaselt kuumutatava rauatükiga on *valged tähed kõige kuumemad, punased aga vähem kuumad.*

Erinevused tähtede spektrites seisnevad mitmesuguses heleduse jaotuses piki nende pidevat spektrit ja selles, et tumedate joonte asetus ning intensiivsus pideva spektri taustal on erinevad.

Tähtede spektrite erinevused tulenevad peamiselt nende atmosfääride temperatuuride erinevusest, sest iga keemilise elemendi aatomite spektrid muutuvad nende temperatuuride tugeval muutumisel.

Tähtede temperatuure uuritakse eespool (punkt 34) kirjeldatud meetodite abil. Selle uurimise tulemusena on kindlaks tehtud, et kõige kuumemad on sinakad tähed, seejärel tulevad valged tähed.

Nende pinna temperatuur on 10 000—30 000°, kuid leidub veel kuumemaidki tähti, temperatuuriga kuni 100 000°. Kollased tähed on jahedamad: nende pinna temperatuur on umbes 6000°. Kõige vähem kuumad on punased tähed: nende pinna temperatuur on ainult 3000°, vahel aga isegi 2000° ja vähem. Tähtede sisemuses, nagu Päikese sisemuseski, ulatub temperatuur paljude miljonite kraadideni.

Võrreldes Päikese ja tähtede spektreid ning temperatuure, tuleme järeldusele, et Päike on keskmise temperatuuriga (6000°) kollane täht.

Tähtede temperatuuride erinevuste kõrval saab nende spektrite järgi kindlaks määrata ka erinevused nende keemilises koostises, mis üldiselt kõigil tähtedel on ühesugune ning lähedane Päikese ja Maa keemilisele koostisele. Uurides tähtede spektreid, me avastame tähtedel neidsamu keemilisi elemente, mis on meile tuntud Maal ja Päikesel. See tõestab veel kord aine materiaalset ühtsust, millest koosnevad Maa ja kõik teised taevakehad, ning kummutab usulised tõekspidamised erinevustest maa ja taeva vahel.

Praegu on teadusel tähtede mõõtmete määramiseks mitu meetodit. Ühte neist me selgitame järgmises näites.

On teada, et tähe pinna igalt ruutsentimeetrilt kiiratud energia hulk kasvab koos tähe temperatuuriga.

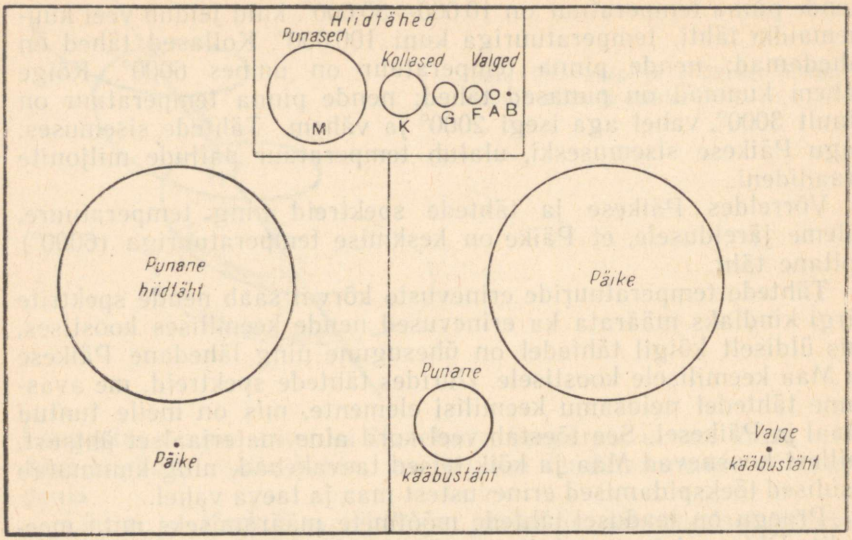
Tähe kogukiirgus on võrdne energia hulgaga, mida kiirgab tema pinna üks ruutsentimeeter, korrutatud pinna suurusega. Seepärast, kui mõne tähe temperatuur ja absoluutne heledus on ühesugune meie Päikese omaga, siis võime väita, et pinna suurus (järelikult ka läbimõõt) on tähel sama mis Päikeselgi.

Kui sama temperatuuri puhul nagu Päikesel tähe absoluutne heledus on 16 korda suurem, tähendab see seda, et tema pind on 16, läbimõõt aga 4 korda suurem kui Päikesel. Analoogiliselt võib määrata ka teiste tähtede läbimõõte, viies sisse paranduse nende tähtede temperatuuride erinevuse kohta Päikese temperatuurist. Saadud tulemusi kontrollitakse teiste meetoditega ja selgub, et nad on üksteisega täielikus kooskõlas.

Hiidtähtedeks nimetatakse suure absoluutse heledusega tähti, kääbustähtedeks aga väikese absoluutse heledusega tähti. Kuid ka mõõtmeilt kohtame tähtede hulgas nii hiiglasi kui kääbuseid (joon. 93).

Punaste hiidtähtede hulka kuuluvad Betelgeuse ja Antaares. Esimesel neist on läbimõõt ligikaudu 400, teisel 300 korda suurem Päikese läbimõõdust. Hiidtähe Betelgeuse sisse võiksid mahtuda päikesesüsteemi kõigi planeetide orbiidid kuni Marsini, viimane kaasa arvatud. Gaas, millest koosnevad punased hiidtähed, on väga hõre; tema tihedus on tuhandeid kordi väiksem toa õhu tihedusest.

Punased kääbustähed pole paljale silmale nähtavad. Üks neist, meile väga lähedane täht (nr. 60 Krügeri kataloogi järgi), on läbi-



Joon. 93. Päikese, kääbus- ja hiidtähtede suhtelised suurused.

mõõdult $2^1/_2$ korda väiksem Päikesest. Gaasid, milledest ta koosneb, on niivõrd tugevasti kokku surutud, et nende keskmine tihedus on 4,5 korda suurem vee ja 3 korda suurem Päikese tihedusest.

Mida väiksemad on tähed, seda suuremal arvul esineb neid maailmaruumis, punaseid hiidtähti aga esineb väga harva. Oma suuruselt osutub Päike tavaliseks täheks, mitte eriti suureks, kuid mitte ka väga väikeseks.

On olemas tähti, mis oma absoluutselt heleduselt kuuluvad kääbustähtede hulka, kuid mis on valge värvuse ja kõrge temperatuuriga. Oma suuruselt kuuluvad valged kääbustähed kõige väiksemate tähtede hulka. Nende mõõtmed on vahel väiksemad isegi Maa mõõtmeist. Valge kääbuse näitena võib tuua Siiriuse kaaslase. See nõrk täht tiirleb planeedisarnaselt ümber Siiriuse, kuid ta mass on peaaegu võrdne Päikese massiga ja ta kiirgab oma valgust.

Valgete kääbustähtede keskmine tihedus on äärmiselt suur: see ületab vee tiheduse tuhandeid kordi. Ühe valge kääbustähe tihedus on sedavõrd suur $\left(5 \cdot 10^7 \frac{g}{cm^3}\right)$, et kui tema ainega täita sõrmkübar, võiks ta tasakaalustada raudteeveduri.

Maa peal me ei tunne sellise hiiglasliku tihedusega aineid. Sealjuures aga koosnevad valged kääbused nendesamade keemi-

liste elementide aatomitest, milledest koosneb Maa. Selle mõistatuse lahenduse annab aine aatomite ehituse ja tähtede sees valitsevate füüsiliste tingimuste tundmine.

Keemiliste elementide aatomid osutuvad keerulisteks süsteemideks, mis koosnevad tuumadest nende ümber ringlevate elektronidega. Peaaegu kogu aatomi mass on koondunud tema tuuma, aatomi suuruse aga määravad tuumast kõige kaugema elektroni orbiidi mõõtmed. Need mõõtmed määravad piiri, milleni on võimalik lähendada aatomeid rõhumise mõjul. Valgete kääbustähtede sisemuses valitsevad tohutult kõrged temperatuurid ja rõhud. Kõrge temperatuuri tõttu rebitakse elektronid aatomitest lahti ja viimastest jäävad järele ainult nende tuumad, mille mõõtmed on väga väikesed, võrreldes elektronide orbiitide mõõtmetega. Seepärast võivad määratu suurte rõhkude mõjul mõõtmeilt vähenenud aatomid olla üksteise ligi surutud hoopis suuremal määral, mille tagajärjel tekibki äärmiselt tihe aine. Maa peal pole nii kõrgeid temperatuure ega nii suuri rõhkusid, mis võiksid ainet viia sellisesse olekusse.

Valgete kääbustähtede uurimise näitest selgub meile, kuidas astronoomia rikastab meie füüsikaalaseid teadmisi aine ehituse alal.

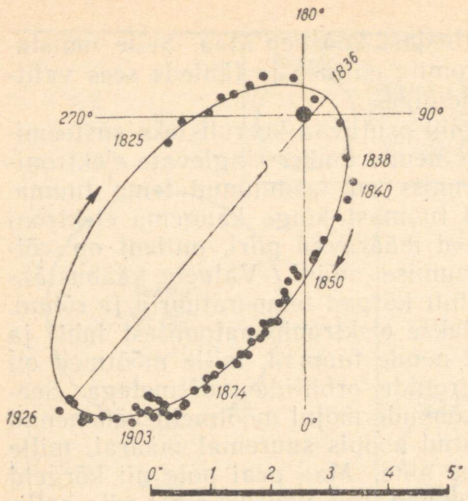
Enamik tähti allub tähtsale seaduspärasusele — mida suurem on nende mass, seda suurem on ka absoluutne heledus. See seos peegeldab füüsikalisi tingimusi, mille juures tähed võivad püsivalt eksisteerida.

Hiidtähtede mass on suurem kui kääbustähtede mass, kuid need erinevused pole nii suured kui erinevused absoluutses heleduses. Kõige raskemate tähtede mass on Päikese massist umbkaudu kümme korda suurem, kõige kergemate mass aga mõned korrad väiksem. Äärmiselt harva esineb tähti, mille mass moodustab Päikese massist ainult mõne kümnendiku. Järelikult on Päike oma massilt keskmine täht.

Me näeme, et *kõigi füüsikaliste tunnuste vaatekohalt — värvuselt, spektrilt, suuruselt, temperatuurilt ja massilt — osutub Päike tavaliseks, mitte millegi poolest eriliselt silmapaistvaks täheks.*

52. **Kaksiktähed ja muutlikud tähed.** Sageli moodustavad kaks tähte süsteemi. Vastastikuse külgetõmbe mõjul tiirlevad tähed nende ühise raskuspunkti ümber. Niisuguseid tähti nimetatakse füüsilisteks kaksiktähtedeks. Paljale silmale liituvad sellised tähed harilikult üheks ja me näeme neid kui ühte tähte. Ainult teleskoobi, vahel aga alles spektraalanalüüsi abil võib kindlaks teha, et vaadeldav täht on kaksiktäht.

Mõnikord juhtub, et kaks tähte, mis on kaugel teineteise taga ega ole seotud vastastikuse külgetõmbega, paistavad peaaegu ühes ning samas suunas, nii et paljale silmale liituvad nad üheks



Joon. 94. Kaksiktähe (γ Neitsis) kaaslase orbiit peatähe suhtes. (Orbiidil on märgitud tema asendid vastavail aastail. Punktide laialipaisatus on tingitud vaatlusvigadest.)

täheks. Selliseid tähti nimetatakse optilisteks kaksiktähteks.

Füüsilised kaksiktähed tiirlevad teineteise ümber mitmesuguste perioodidega ja mitmesugustel kaugustel (joon. 94). Üldse — mida lähemal nad teineteisele on, seda lühemad on nende tiirlemisperioodid, mis mõnede tähtede puhul on mõõdetavad tundidega, teiste puhul aga aastasadadega.

Sageli on kahest tähest üks ühte värvi (näiteks kollane või punane), teine aga teist värvi (näiteks valge või helesinakas). Neid teleskoobiga vaadelda on väga huvitav.

Kujutlege, kuidas peaks muutuma valgus planeetidel, mis tiirlevad selliste kaksiktähtede ümber, kui horisondi kohale tõuseb vahel punane, vahel helesinine päike, vahel aga mõlemad päikesed korraga.

Suure hulga kaksiktähti avastasid ja mõõtsid Pulkovo observatooriumi esimene direktor W. Struve ja ta poeg O. Struve.

Vahel esineb süsteeme, mis koosnevad mitte kahest, vaid kolmest või koguni neljast tähest. Need on nn. mitmekordsed tähed.

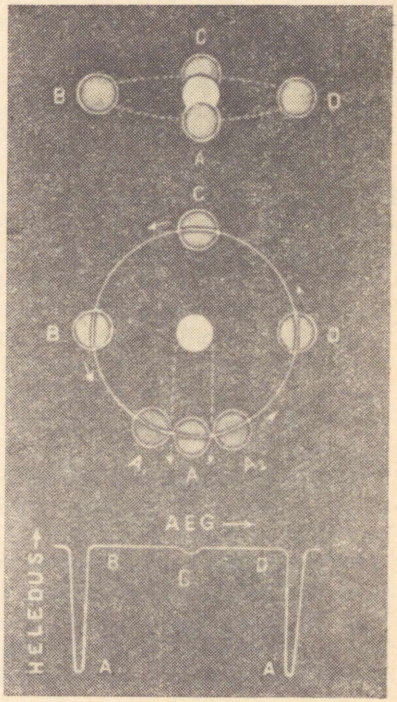
Vahel on kaks tähte oma vastastikusel tiirlemisel teineteisele niivõrd lähedal, et isegi kõige võimsama teleskoobiga pole võimalik neid lahus näha. Sellisel juhul tuleb sageli appi spektraalanalüüs. Niisuguste kaksiktähtede spektrid katavad teineteist. Aga et vahel mõlemad tähed oma tiirlemisel mööda orbiiti liiguvad meie suhtes vastassuundades, siis ka nende spektrijooned nihkuvad vastassuundades ja kahestuvad. Nende joonte nihkumise suurus muutub perioodiliselt, sest et iga täht, liikudes mööda orbiiti, kord läheneb meile, kord kaugeneb meist. Tähti, millede kaksiklus ilm-

neb ainult spektraalanalüüsi abil, nimetatakse *spektraalkaksikuteks*.

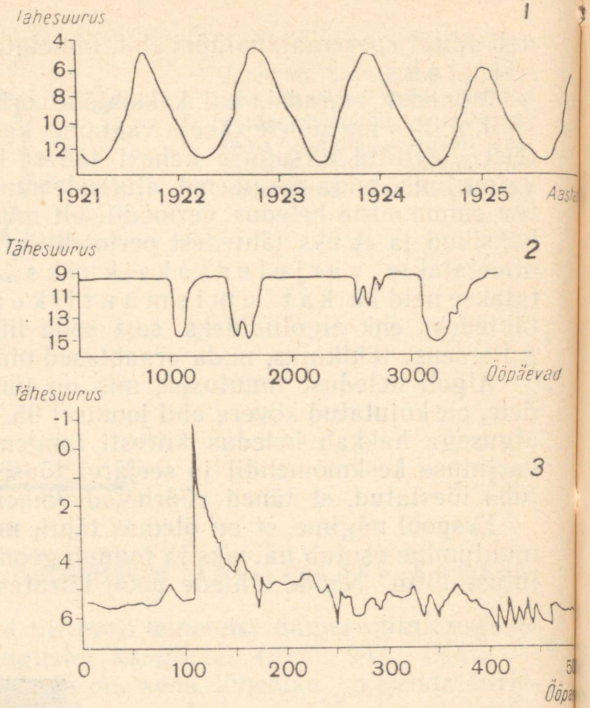
Mõnedel juhtudel, kui kaksiktähe orbiidi tasapind läbib just sihti, milles me sellele tähele vaatame, katab üks täht perioodiliselt teist. Seetõttu niisuguse kahest tähest koosneva süsteemi kogu valgushulk, mida me näeme, ajutiselt muutub. Tähti, millede nähtav summaarne heledus perioodiliselt muutub seetõttu, et nad on kaksikud ja et üks tähtedest perioodiliselt katab ehk varjab teist, nimetatakse *varjutuskaksikuiks* tähtedeks. Vahel nimetatakse neid ka *kattumismuutlikeks* (varjutusmuutlikeks) tähtedeks ehk algoliidideks, sest seda liiki tüüpiliseks täheks on β Perseuse tähtkujus, mida araablased nimetasid Algoliks.

Algoli heleduse muutused, mis on tüüpilised seda liiki tähtedele, on kujutatud kõvera abil joonisel 95. Kattumise ehk varjutuse algusega hakkab heledus kiiresti langema, saavutab miinimumi varjutuse keskmomendil ja seejärel tõuseb uuesti. Tänapäeval on juba tõestatud, et tähed pöörlevad ümber oma telje nagu Päike.

Eespool nägime, et on olemas tähti, mille summaarse heleduse muutumine osutub näivaks ja toimub geomeetrilise põhjuse — varjutuse tõttu. Nende tähtede poolt kiiratav energia hulk tegelikult



Joon. 95. Varjutuskaksiku tähe Algoli süsteem ja tema heleduse muutumise kõver.



Joon. 96. Mitmesugust tüüpi füüsiliselt muutlike ja uute tähtede heleduse muutumise kõverad.
1 — perioodiline (χ Luiges); 2 — korrapäratu (*SU* Sõnnis); 3 — uus.

ei muutu. Kõrvuti nendega esineb tähti, millede kiirgusenergia kõigub. Selliseid tähti nimetatakse füüsiliselt muutlikeks tähtedeks.

Füüsiliselt muutlikke tähti on mitu eri tüüpi, mis erinevad nii heleduse muutuse kõverate kui ka teiste füüsiliste tunnuste poolest.

Kõigepealt liigitatakse füüsiliselt muutlikud tähed perioodilisteks ja korrapäratuiks. Esimestel esinevad heleduse muutused pidevalt, kindla seaduse järgi ja rangelt perioodiliselt. Nende kohta võib aegsasti ennustada, milline on nende heledus kindlaksmääratud momendil. Teistel toimuvad need muutused korrapäratult, ilma ühegi perioodita, ja heleduse kõikumised ise on kord tugevamad, kord nõrgemad, ilma igasuguse seaduspärasuseta.

Mõnede muutlike tähtede heleduse muutumise kõverad on kujutatud joonisel 96. Nende heleduse muutumise põhjusi on veel vähe uuritud.

Mõningate perioodiliselt muutlike tähtede heleduse muutumise periood kestab ainult umbes üks tund, teistel ulatub see aga aastani ja veel enam. Heleduse muutumise põhjus seisneb perioodilises pulseerimises, s. o. tähe paisumises ja kokkutõmbumises, millega kaasnevad temperatuuri muutused.

Paljudel muutlikel tähtedel (tsefeiididel) sõltub heledus selle muutumise perioodist ja iseloomust ning teda saab määrata, teades (vaatluste põhjal) heleduse muutumise perioodi. Võrreldes seda heledust muutliku tähe näiva heledusega, teeme kindlaks kauguse selle täheni. Nii määratakse kaugusi kaugete tähesüsteemideni, mille hulka kuuluvad tsefeiidide tüüpi muutlikud tähed. Kuna need tähed on suure heledusega ja kaugele nähtavad, nimetatakse neid vahel «maailmaruumi majakaiks».

Vahetevahel on pandud tähele, et mõnes taevaosas lööb äkki särama täht, mida seal varem pole nähtud ja mis hiljem nõrgenedes uuesti kaob meie silmist. Sellised tähed nimetati u u t e k s tähtedeks. Hiljem selgus, et need tähed pole tegelikult uued: väga nõrkade tähtedena olid nad olemas ka varem, kuid mõnesugusel põhjusel tugevnesid nad heleduses äkki kümneid tuhandeid kordi. *Uuteks tähtedeks nimetatakse selliseid tähti, mis heleduselt järsku tugevnevad mitmekümneid tuhandeid kordi ja seejärel aegamisi kahanevad jälle endiseks.* Näiteks uus täht Kotka tähtkujus enne ja pärast süttimist oli $10^1/_2$ tähesuurusega, kuid mõne päeva kestel 1918. a. säras ta esimese suurusjärgu tähena.

Uute tähtede igakülgne uurimine näitas, et nende heleduse suurenemise põhjuseks on nende pinna äkiline paisumine. Täht, mis on suurusjärgult ühesugune Päikese omaga, paisub mõne tunni jooksul suureks kui hiiglamull ja ta läbimõõt muutub suuremaks Maa orbiidi läbimõõdust. Paisumise põhjuseks on mõnesugused plahvatused, mis toimuvad tähe sisemuses. Meie Päike niiviisi plahvatada ei saa, sest plahvatavad ainult teatud tüüpi väga kuumad tähed, milliste hulka Päike ei kuulu.

Suurima heleduse momendil tähe atmosfäär eraldub temast: kiiresti paisudes kanduvad atmosfääri gaasid tähelt igale poole laiali kiirusega mõnisada kilomeetrit sekundis ja hajuvad viimaks maailmaruumis. Gaasilised udukogud, mis tekivad kõige heledamate uute tähtede purskel, on kuni hajumiseni kõige võimsamaks raadiokiirguse allikaks meie tähesüsteemis.

TÄHESÜSTEEMID JA DIFUUSNE MATEERIA.

53. **Täheparved. Linnutee ja Galaktika.** Mõnes kohas taevavõlvil võib teleskoobiga ja vahel ka palja silmaga näha tihedaid tähtede sagaraid ehk täheparvi. Neid on kahte tüüpi: hajunud ja kerakujulised (kerasparved).

Hajunud täheparvedes on mõnisada või mõni tuhat tähte korrapäratult laiali pillatud taevavõlvi väikesele osale. Kõik need tähed on ruumis tõepoolest üksteise lähedal ja on seotud vastastikuse külgetõmbega.

Tähtede kerasparved sisaldavad sadu tuhandeid tähti, mis tihenevad nende kerakujuliste parvede keskpunkti suunas. Nende par-



Joon. 97. Hajunud täheparv — Plejaadid.



Joon. 98. Kerajas täheparv Herkulese tähtkujus.

vede tähed on samuti seotud vastastikuse külgetõmbega ja mida lähemale parve keskpunktile, seda lähemal üksteisele on seal tähed ruumis. Kerasparvede mõõtmed on hajunud täheparvede mõõtmeist palju kordi suuremad, kuid et kerasparved on meist hoopis kaugemal, siis võib nende ehitust märgata ainult võimsa teleskoobi abil.

Tüüpiliseks hajunud täheparveks on tähesagar Plejaadid Sõnni tähtkujus, mis rahvakeeles kannab ka Sõela nime (joon. 97). Palja silmaga paistab selles sagaras ainult 6 tähte, binoklis mõnikümmend, teleskoobis on aga kogu vaateväli tähtedega üle puistatud. Tüüpiline tähtede kerasparv esineb Herkulese tähtkujus, kuid binoklis või nõrgas teleskoobis paistab ta uduse tähena. Ainult võimas teleskoop näitab, et see on tihe kerasparv, mis koosneb sadadest tuhandetest tähtedest (joon. 98). Sellise kerasparve läbimõõt moodustab umbes sada parsekit, kuna hajunud täheparvede läbimõõtu, näiteks Plejaadidel, mõõdetakse ainult mõne parsekiga.

Linnutee nimetust kannab hele hõbedane vöö, mis paistab tähistaevas selgel pimedal ööl. Ta ulatub ümber kogu taeva kui määratu suur võru. Ühes kohas on ta laiem, teises kitsam, ühes kohas nõrgem, teises heledam (joon. 99).

Teleskoobis, eriti aga fotodel, paistab, et Linnutee koosneb äärmiselt nõrkade tähtede määratu suurest kogust (joon. 100). See näitab, et meie tähesüsteemi ulatus on suurem selles suunas, milles paistavad nõrgemad (s. o. kaugemad) tähed ja suuremal hulgal, s. o. Linnutee tasapinnas. Sellest, et Linnutee osutub peaaegu täpselt taevaskera suurringiks, järeldame, et kogu meie tähesüsteem laiub Linnutee tasapinnas ja meie asume selle tasapinna läheduses.

Tähtede ruumilise jaotuse uurimine näitas, et kõik tähtkujud ja kõik Linnutee tähed on ühtne gigantne tähesüsteem, mida nimetatakse Galaktikaks. Kogusummas koosneb Galaktika enam kui sajast miljardist tähest, milledest üks on meie Päike. Tähtede üldise paigutuse poolest meenutab Galaktika läätse kuju. Selle läätse ümber paiknevad tähed hõredamalt, moodustades sfäärilise süsteemi.

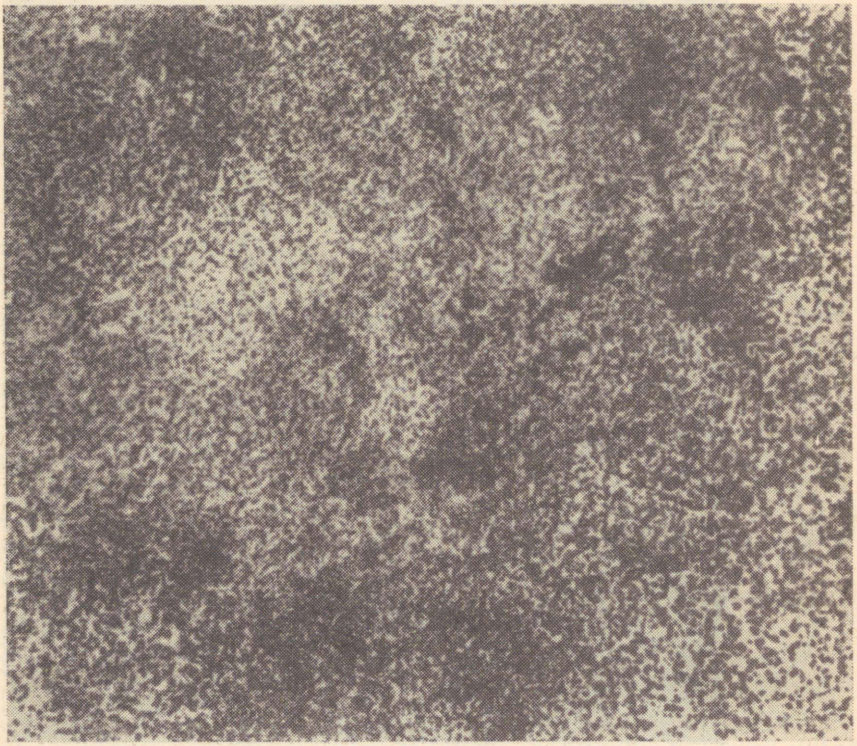


Joon. 99. Osa Linnuteest palja silmaga nähtuna.

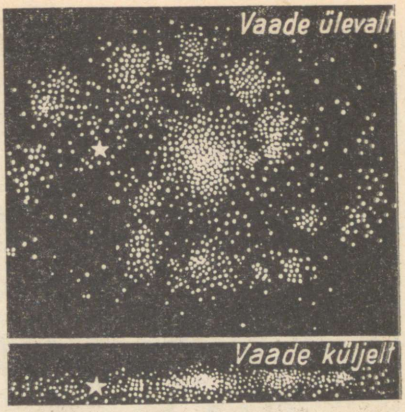
Joonisel 101 näeme, kuidas paistaks meile Galaktika, kui vaadelda teda maailmaruumist mitmest küljest.

Galaktika tähed kuhjuvad tema sümmeetriatasapinna ja keskpunkti poole. Nende tähtede suure hulga seas esinevad gigantsed tihendid, justkui tähtedest koosnevad pilved, nende pilvede sees aga on väiksemad tihendid — need on täheparved.

Meie Galaktika võrdlusest teiste tähesüsteemidega, mis on kirjeldatud järgmises paragrahvis, peab oletama, et tal on lisaks sellele veel spiraalne ehitus (vt. joon. 101). Seda kinnitavad ka otsesed mõõtmised meie Galaktikas. Meie päikesesüsteem asub Galaktika sees, viimase tasapinna lähedal. Seepärast, vaadates selles tasapinnas mistahes suunas, tungib meie vaade läbi suurima tähtede hulga Galaktika suurima ulatuse sihis. Siin kohtab meie silm hulga kaugeid tähti, mis paistavad väga nõrkadena ja mis seetõttu paljale silmale liituvad pidevaks uduseks vööks — Linnuteeks.



Joon. 100. Osa Linnuteest, pildistatud teleskoobi abil.



Joon. 101. Galaktika ehituse skeem. Tähekesega on märgitud päikesesüsteemi asukoht.

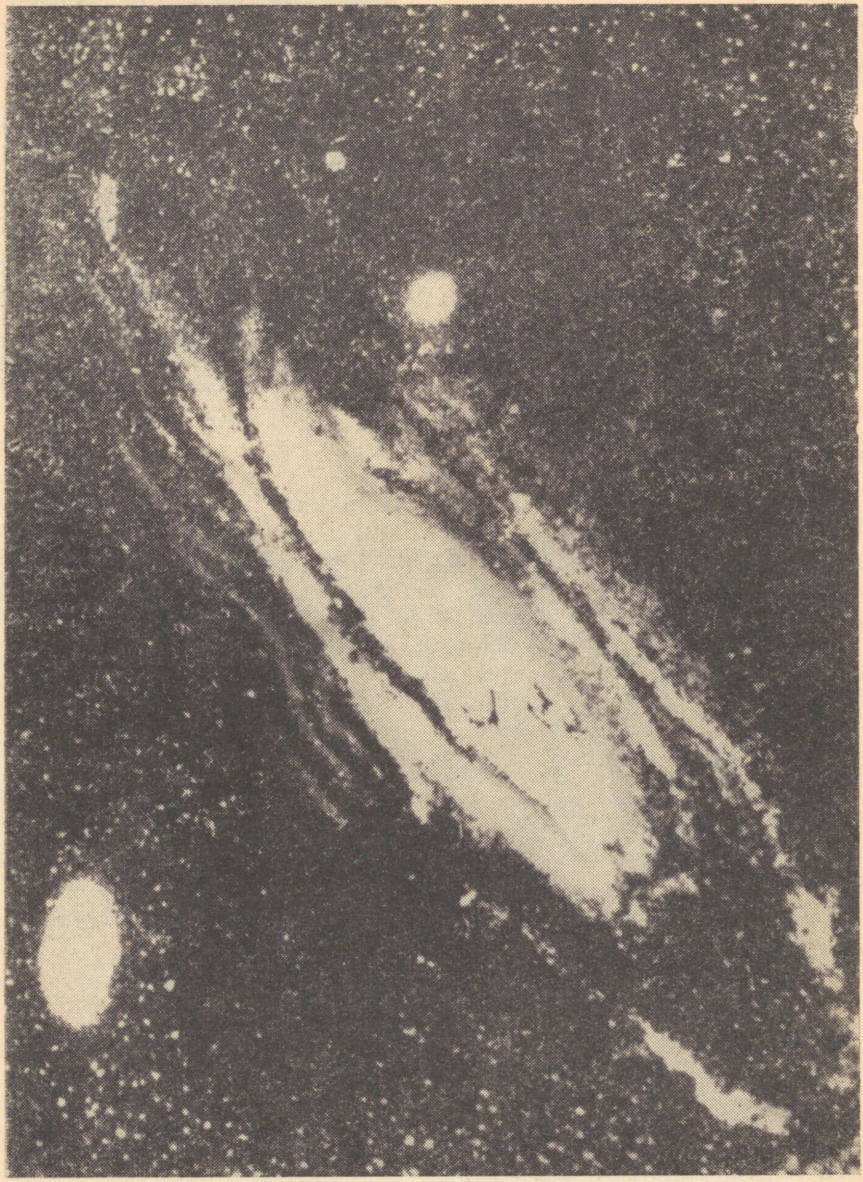
Päikesesüsteem on väljaspool Galaktika tuuma, mis asetseb Amburi tähtkuju suunas. Meilt kuni selle tuumani on umbes 8000 parsekit. Galaktika läbimõõt aga moodustab umbes 30 000 parsekit, s. o. valgus levib tema ühest äärest teiseni umbes 100 000 aastat; teravad piirjooned Galaktikal puuduvad.

Kogu Galaktika on pöörlevas liikumises ümber telje, mis on risti tema tasapinnaga, mida seetõttu nimetatakse galaktika ekvaatori tasapinnaks. Päikesesüsteem võtab osa sellest üldisest liikumisest, ja tõtates mööda oma orbiiti kiirusega umbes 200 $\frac{km}{s}$, teeb ühe täisringi ümber Galaktika keskpunkti ligikaudu 200 miljoni aastaga.

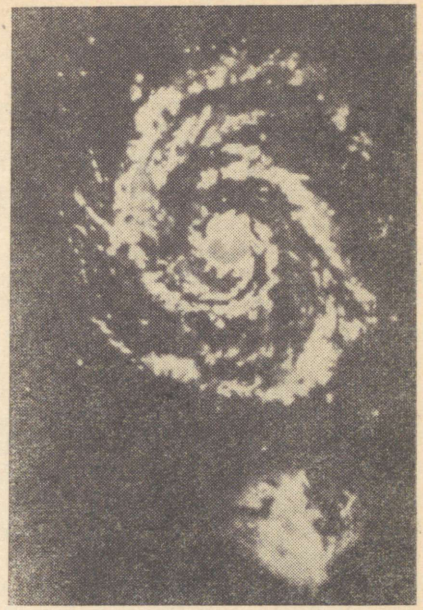
Varem kirjeldatud päikesesüsteemi liikumine kiirusega 20 $\frac{km}{s}$ on aga tema liikumine selle tähepilve tähtede suhtes, mille hulka ta kuulub. Kõiki andmeid Galaktika kohta täpsustatakse igal aastal.

54. Teised tähesüsteemid — galaktikad. On kindlaks tehtud, et meie Galaktika pole ainuke tähesüsteem. On olemas suur hulk teisi temataolisi tähesüsteeme, mida nimetatakse galaktikateks. Meile lähimaks on spiraalne galaktika Andromeeda tähtkujus (joon. 102). Paljale silmale ja isegi teleskoobis paistab ta uduse laiguna. Võimsate teleskoopide abil tehtud fotolt ilmneb, et tõeliselt on see hiiglasuur täheparv.

Et me seda galaktikat näeme tema telje suhtes mõnesuguse nurga all, siis on tal väljavenitatud, piklik kuju. Jahipenide tähtkujus (joon. 103) olev teine samasugune galaktika on asetatud meie suunas «fassaadiga» ja me näeme tema spiraalseid harusid moonutamata kujul. Mõnda galaktikat näeme me küljelt ja see-



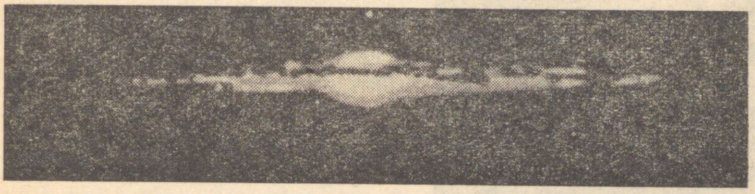
Joon. 102. Spiraalne galaktika Andromeeda tähtkujus.



Joon. 103. Spiraalne galaktika Jahipenide tähtkujus.

tõttu need, olles tõenäoliselt samuti spiraalse ehitusega, on värtnakujulised (joon. 104). Kõik need kujud peavad olema ka meie Galaktikal, kui teda vaadelda mitmesuguste nurkade all suurest kaugusest. Mõned galaktikad on kerakujulised või lapikud. Meie Galaktika kuulub kõige suuremate tähesüsteemide hulka. Kõik galaktikad pöörlevad sarnaselt meie Galaktikaga ümber oma telje.

Galaktika Andromeeda tähtkujus — üks meile lähemaid galaktikaid — asub meist eemal ligikaudu miljon valgusaastat. Maailma kõige suurema (5-meetrise läbimõõduga läätsega) teleskoobi abil pildistatud kaugemad galaktikad on meist peaaegu miljardi valgusaasta kaugusel. Selle teleskoobiga on võimalik vaadelda üle



Joon. 104. Spiraalne galaktika küljelt vaadatuna.

miljardi galaktika. Enamik neist on koondunud rühmadeks või suurteks parvedeks, kus leidub sadasid ja isegi tuhandeid üksikuid galaktikaid.

55. Difuusne mateeria. Peale udulaikude, mis tegelikult osutuvad kaugeteks tähesüsteemideks, võib taevavõlvil näha heledaid uduseid laike — udukogusid, mis koosnevad äärmiselt hõredast ehk, nagu öeldakse, difuussest ainest.

Niisugused heledad udukogud liigitatakse oma kuju poolest difuusseiks (ähmased, tombulise kujuga) ja planetaarseiks (väikesed, ümmarguse kujuga) udukogudeks.

Planetaarsete udukogude keskpunktis (joon. 105) asetseb alati nõrk täheke, udukogude kuju on aga ringikese- või rõngakesekujuline. Selliste planetaarsete udukogude näitena esineb udukogu Lüüra tähtkujus. Planetaarseil udukogudel pole midagi ühist planeetidega ja oma nimetuse said nad sellest, et teleskoobis meenutab nende kuju planeetide kettaid.

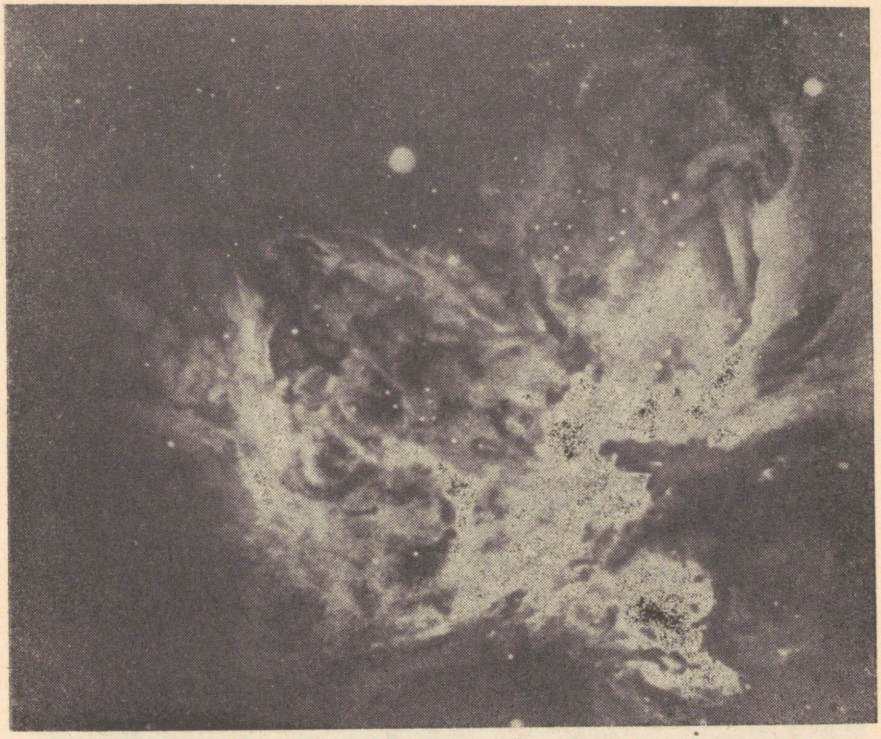
Difuusse udukogu näitena võib tuua udukogu Orioni tähtkujus (joon. 106), mis on hästi nähtav juba tugeva binokliga. Heleda kuuvalguse puhul pole udukogud muidugi nähtavad. Nende ehitus ilmneb kõige paremini fotodel.

Spektraalanalüüsi abil selgus, et mõned heledad udukogud (nende hulgas kõik planetaarsed) koosnevad äärmiselt hõredast külmast gaasist. See gaas helendab nende kõige kuumemate tähtede valguse mõjul, mida ta ümbritseb. Teatud määral on see helendamine sarnane gaasi helendamisega hõrendustorus elektrilahenduse mõjul.

Teised heledad udukogud koosnevad kuhjunud tolmust, mis helendab mõnelt lähedaselt küllaldase heledusega tähelt peegeldunud valgusest. On olemas udukogusid, mis koosnevad tolmu ja



Joon. 105. Planetaarne udukogu.



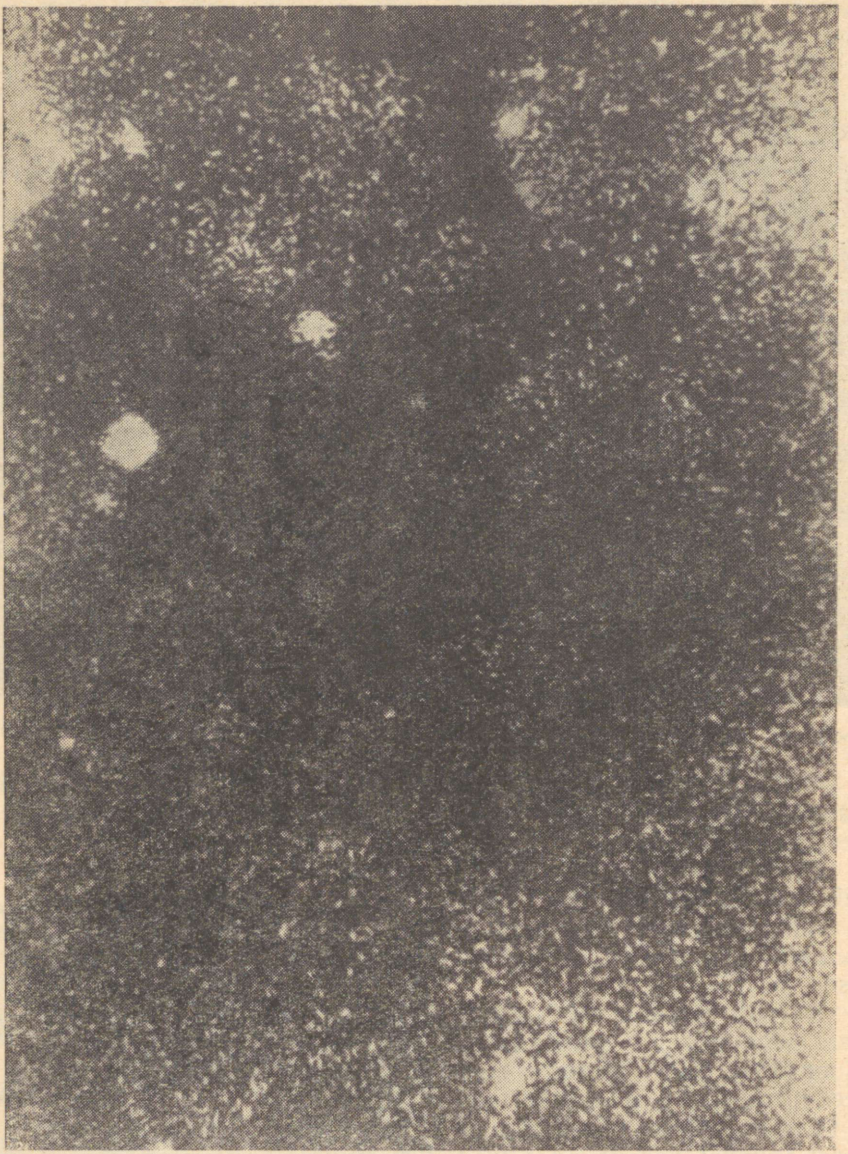
Joon. 106. Difuusne gaasiline udukogu Orioni tähtkujus.

gaaside segust, millede hulgas domineerivad vesinik, hapnik, heelium ja lämmastik.

Planetaarsete udukogude mõõtmed ületavad harva üht parsekit, difuussete mõõtmed aga ulatuvad kuni saja parsekini. Nii ühed kui ka teised koos tähtedega kuuluvad meie Galaktika ja teiste galaktikate koosseisu, mistõttu nad kannavad üldnimetust galaktilised udukogud.

Kõrvuti heledate udukogudega võib Linnutee vöös näha tumedaid udukogusid — mustade laikudena Linnutee helendaval foonil (joon. 107). Taeva lõunapoolkeral on kaks eriti musta laiku Linnutees nimetatud isegi «söekottideks».

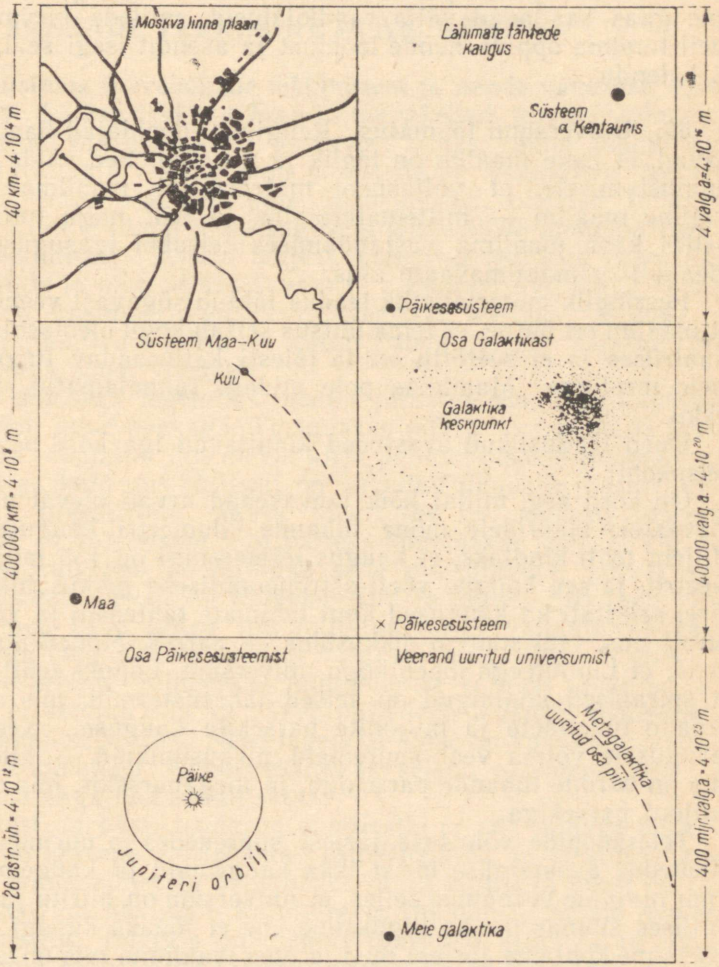
Uurimused on näidanud, et need on gigantsed kõige peenemast tolmust koosnevad pilved, mis varjavad meie eest kaugete tähtede valgust. Udukogu foonil paistavad ainult need tähed, mis on meile lähemad kui pilv ise. Enamik tumedatest udukogudest on kuhjunud Galaktika ekvaatori tasapinnas. Valguse neelamisega niisuguste udukogude poolt on seletatavad ka tumedad ribad, mida võib näha piki värtnataoliste, s. o. meie poolt ekvaatori tasapinnas nähtavate galaktikate külgi (joon. 104)



Joon. 107. Tume tolmust koosnev udukogu Maokandja tähtkujus.

Tolmupilved (tumedad udukogud) näevad välja nagu heledad udukogud, kui neid valgustab neile lähedal asuv täht.

Planeetide, tähtede, udukogude ja galaktikate vaheline ruum pole absoluutselt tühi, vaid on täidetud difuusse mateeriaga. Temas lendab meteoorkehi ja nende osakesi, tolmukübemeid, molekule, üksikuid aatomeid ja elektrone. Selle difuusse keskkonna tihedus on äärmiselt madal, ta on 10^{24} korda väiksem vee tihedusest. Gaasidest või tolmust koosnevatel udukogudel on ta sada või tuhat korda suurem, kuid sedagi tihedust pole me veel võimelised saavutama õhu hõrendamisel parimategi õhupumpade kupli all.



Joon. 108. Universumi mõõtkava.

Olgugi et tähtedevahelise difuusse keskkonna tihedus on väga väike, tekitab see keskkond väga kaugete tähtede valguse tunduvat neeldumist. Ta nõrgendab nende heledust ja teeb nad punasemaks. 1847. aastal tegi kuulus astronoom, Pulkovo observatooriumi direktor W. Struve kindlaks tõsiasja, et tähtedevaheline ruum neelab valgust. Üldist tunnustamist leidis see fakt alles XX sajandil.

Seda, et maailmaruumis valgus osaliselt neeldub, peavad astronoomid alatasa silmas pidama ja arvestama kaugete tähtede uurimisel.

Tähtedevaheline keskkond, nagu tumedad udukogudki, tiheneb Galaktika tasapinna poole. Gaasilised udukogud ja tähtedevaheline gaas saadavad välja raadiolaineid, millede uurimine aitab meil tundma õppida nende loomust ja asendit isegi seal, kus nad ei helendu.

56. Universumi lõpmatus. Religiooni pooldajad harilikult väidavad, et meie maailm on lõplik ja piiratud. See väide viib selle tunnustamisele, et väljaspool materiaalset maailma on teistsugune maailm — mittemateriaalne ja just nagu tunnetamatu. Selles kahe maailma vastandamises seisabki igasuguse usulise, idealistliku maailmavaate alus.

Eesrindlik materialistlik teadus lähtub sügavast veendumusest, et maailm on ühtne, et tema ühtsus seisab kogu olemasoleva materiaalsuses ja et seetõttu on ta täiesti kättesaadav tunnetamisele meie meeltega. Maailmas pole midagi tunnetamatut, üleloomulikku.

Uued teaduslikud avastused kinnitavad iga kord neid põhilisi seisukohti.

Oli kord aeg, millal kõik taevakehad arvati olevat paigutatud taevastele sfääridele mõne tuhande kilomeetri kaugusel Maast. Hiljem tehti kindlaks, et kaugus Päikesenigi on 150 miljonit kilomeetrit, ja see kaugus võeti astronoomiliseks pikkusühikuks. Seejärel selgitati ka kaugused kuni lähimate tähtedeni ja võeti tarvitusele uus, veel suurem pikkusühik — parsek. Mõned uurijad oletasid, et Linnuteega lõpeb kogu universum. Lõpuks tehti kindlaks, et spiraalsed udulaigud on teised tähesüsteemid, mis asetsevad sadade tuhandete ja miljonite parsekite kaugusel. See ajendas tarvitusele võtma veel suuremaid pikkusühikuid — kiloparsekit, mis on võrdne tuhande parsekiga, ja megaparsekit, mis on võrdne miljoni parsekiga.

Teleskoopide võimsuse järjest suurenedes ja uurimismeetodite täienedes avastatakse meist ikka kaugemaid ja kaugemaid maailmu ning me veendume selles, et universum on piiritu ja lõpmatu. Millises suunas me ka liiguksime, me ei jõuaks kunagi lõpuni ja peaksime kohtama järjest uusi ja uusi maailmu, mis on alalise liikumise ja muutumise olekus.

V peatükk.

TAEVAKEHADE TEKKIMINE JA ARENEMINE.

57. Küsimus taevakehade tekkimisest ja nende vanusest. Küsimus sellest, kuidas tekkisid Maa ja taevakehad, huvitab inimsugu tema teadliku elu esimestest astmetest alates. Selle küsimusega pöördusid vanaaja rahvad oma preestrite — usukultuse teenrite poole, kes, nagu usklikele näis, teadsid kõiki olemise saladusi. Kuid preestreil ei olnud mingisuguseid teaduslikke andmeid taevakehade tekkimisest. Teisest küljest, preestrid levitasid usku, austust jumalate ja oma seisuse vastu ja seepärast nad ise ei võinud jätta sellist küsimust vastuseta. Preestrid levitasid legende, et jumal või jumalad (sõltuvalt antud rahva usust) rajasid, lõid maailma oma soovi kohaselt.

Üheks selliseks legendiks osutub jutustus maailma loomisest jumala poolt kuue päevaga. Ta tuuakse piiblis — juutide ja kristlaste pühas raamatus, mis olevat kirja pandud otsekui jumala enda sõnade järgi, kuid mis tõeliselt on laenatud vanaaja juutide poolt babüloonia preestritelt. Selles jutustuses on rohkesti otseseid vastuolusid ja absurdsusi. Nii näiteks kõneldakse seal, et alguses jumal «lõi valguse» ja «eraldas selle pimedusest», pärast aga, alles neljandal päeval, lõi Päikese, Kuu ja tähed. See jäme eksimus põhineb selle lihtsa tõe mittetundmisel vanaaja rahvaste poolt, et iga valgus tuleb mõnest valgusallikast. Enne Päikese ja teiste taevakehade kujunemist mingisugust valgust üldse ei saanud olla, ei saanud olla ka päevi, milledega legendis mõõdetakse maailma loomise kestust. Need legendid üldse on vastuolus teaduse põhiliste andmetega. Nende ekslikkus seisab esijoones selles, et maailm just nagu loodi eimillestki.

Katsetest on hästi teada, et eimillestki ei saa midagi teha, et mateeria on igavene, mitteloodav ja mittehäviv, ja et võimalikuks osutuvad ainult mateeria üleminekud ühest kujust ja ühest olekust teise. Samuti on hävimatu ka mateeria liikumine, temale igavesti omane energia. Energia on olemas igavesest ajast ja ta ainult muudab oma kuju. Aine jäävuse seadus ja energia jäävuse seadus, mis esimesena formuleeriti 1748. a. Lomonossovi poolt, on

lähtekohaks teaduslike järelduste tegemisel maailmade tekkimise kohta.

Usulised legendid maailma loomisest jumala poolt, mis esitatakse kui «jumalikud ilmutused» ja mis seetõttu ei kuulu arvustamisele, pidurdasid teaduse arenemist. Praegugi etendavad nad sügavalt reaktsioonilist osa.

Väide maailma loomisest jumala poolt ei selgita üldse midagi ja ainult asendab ühe tundmatu teise tundmatuga. Teisest küljest, teades, et mateeria ja tema liikumine on hävimatud, me üldse ei pea esitama küsimust maailma tekkimisest tervikuna. Sellel küsimusel puudub mõte. Võib esitada küsimuse ainult üksikute taevakehade — Maa, Päikese, tähesüsteemide tekkimise kohta, sest ained, millest nad koosnevad, ja liikumised, millest nad osa võtavad, pidid eksisteerima ka varem, kuid teisel kujul. Iga taevakeha, olles kord tekkinud, samuti kui kõik looduses, ei püsi sellisena muutumatult, vaid areneb, muudab oma kuju. Niisiis, taevakehade tekkimine, kujunemine ja arenemine on üksteisega tihedalt seotud.

Astronoomia osa, mis tegeleb taevakehade tekkimise ja arenemise küsimustega, nimetatakse k o s m o g o o n i a k s.

Taevakehade vanuseks me nimetame aega, mis on möödunud nende kujunemisest kuni praeguse momendini. See on väga pikk ja võrreldes sellega on inimese elu ning teaduse vanus Maa peal ainult lühike hetk. Seda võib taibata juba selle põhjal, kui aeglaselt, olgugi et pidevalt, muutub meie Maa pind.

Maa vanust saab määrata mitmel viisil. Kõige täpsem neist on järgmine.

On teada, et radioaktiivsete keemiliste elementide aatomid spontaanselt lagunevad, muundudes teiste keemiliste elementide aatomiteks. Kui asetada näiteks kuskile teatud hulk uraani, siis aja jooksul tekib temast kindel, juba varem kindlaksmääratav hulk pliid. Ja vastupidi: radioaktiivses maagis oleva plii ja uraani hulga suhtest võib määrata, kui kaua kestis selle uraani lagunemine, s. t. kui vana ta on.

Mitmesuguste kivimite vanuse määramine on näidanud, et kõige vanemad neist on kujunenud mitu miljardit aastat tagasi. Selline on ilmselt ka maakoore vanus.

Maa vanus tema kui taevakeha tekkimise momendist arvates peab olema suurem maakoore vanusest. Maakoores leiduvate kivistunud taimede uurimine näitab, et Päikese kiirgamine pole oluliselt muutunud sadade miljonite aastate jooksul, s. o. et ta püsib praegugi niisama kuumana. Tähendab, Päike on vanem kui Maa.

Meie tähesüsteemi — Galaktika vanus on kahtlemata suurem Päikese vanusest ja, tähendab, ka Maa vanusest.

Kõiki neid andmeid tuleb arvestada, kui me tahame kujutleda endale üksikute taevakehade ja nende süsteemide tekkimist ning arenemist.

58. Planeetide süsteemide tekkimine. Päikesesüsteemi tekkimise, s. o. planeetide ja eriti Maa tekkimise selgitamine põrkab kokku kõige suuremate raskustega. Suurt osa neis raskustes etendab see asjaolu, et meie ei tunne seni mingisuguseid teisi taolisi süsteeme, kuigi nad peavad eksisteerima. Tõepoolest, kui me vaatleksime teisi päikesesüsteeme, siis nende hulgas tõenäoliselt leiduks süsteeme, mis on erinevail arenemisastmeil. Neid omavahel võrreldes me oleksime suutelised restaureerima päikesesüsteemi tekkimis- ja arenemisloo.

Ei tule aga unustada seda, et isegi praegusaja ülivõimsate teleskoopidega ei suuda me näha Maaga sarnaseid planeete ka kõige lähemate tähtede ümber — nii nõrgalt peavad nad helendama. Aga see asjaolu, et meie neid ei näe, ei tõesta sugugi veel seda, et neid tõeliselt pole olemas.

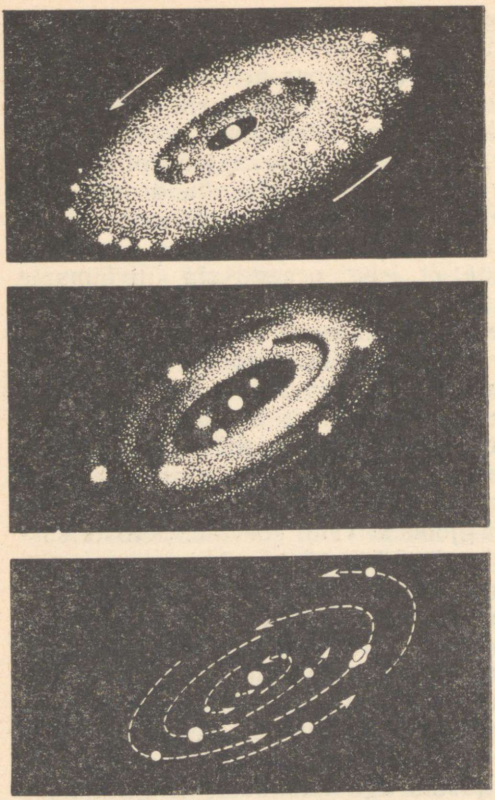
Juba on viidatud mõnede tähtede ümber ringlevate, esialgu veel nähtamatute väga suurte planeetide olemasolule. Nende olemasolu avastati sellega, et pandi tähele, kuidas mingite nähtamatute, massilt tunduvalt väiksemate kehade külgetõmbe mõjul kalduvad tähed oma liikumises sirgjoonest veidi kõrvale. Selliste süsteemide sage esinemine näitab, et päikesesüsteemide esinemine ei ole sugugi haruldaseks nähtuseks.

XVIII sajandi keskel esitas saksa filosoof Kant esimesena teadusliku oletuse — hüpoteesi päikesesüsteemi tekkimise kohta. Sellise hüpoteesi esitas hiljem Kantist sõltumata ka prantsuse teadlane Laplace. Kanti arvates tekkis päikesesüsteem väikestest tahketest ja sealjuures jahedatest osakestest. Nende osakeste kaose ebaühtlus kutsus esile temas esinevate tihenduste kasvu, üksteise vastu põrkumine põhjustas aga tihenduste ringliikumise ümber kõige suurema tihenduse, millest saigi Päike. Tema ümber tekkinud väiksematest tihendustest said planeedid.

Laplace oletas, et päikesesüsteem tekkis suurest pöörlevast gaasilisest udukogust. Udukogu kokkutõmbumisel tema jahtumise tagajärjel pöörlemine kiirenes ja see põhjustas udukogu laperguseks muutumise, pöörlemiskiiruse edasine kasvamine aga viis selleni, et piki ekvaatorit hakkasid temast üksteise järel eralduma gaasirõngad, mis hiljem tihenesid kerakujulisteks planeetideks. Suure pöörlemiskiiruse juures ei suutnud udukogu osakesed püsida pöörlemistrajektooril ja liikudes inertsi mõjul (puutuja suunas), hakkasid nad kaugenema pöörlemistsentrist. Algul põhjustas see udukogu lapikuse, hiljem aga osakeste eraldumise gaasirõngaste näol.

Praegusaja andmed aga räägivad, et terve rea põhjuste tõttu ei saanud päikesesüsteemid tekkida nii, nagu seda kujutasid Laplace ja Kant.

Kuid nende poolt näidatud võimalus taevakehade järkjärgulisest tekkimisest ja arenemisest mateeria teistest vormidest osutus tähtsaks toeks universumi arenemise materialistlikul selgitamisel.



Joon. 109. Planeetide tekkimine gaasilis-tolmsest kettast.

Kanti materialistlikke ideid planeetide tekke kohta jahedatest osakestest ja gaasidest on tänapäeval edasi arendanud nõukogude teadlased, tuginedes sealjuures mehhaanika-, füüsika- ja keemiaseaduste täpsele tundmisele.

Kõige üksikasjalisema hüpoteesi päikesesüsteemi tekkimise kohta gaasilisest tolmupilvest on välja töötanud akadeemik O. Schmidt.

Nõukogude teadlased tõestasid, et ümber Päikese tiirlev gaasist ja tolmust koosnev suur pilv peab tema osakeste vastastikuse rõhumise ja liikumise tõttu omandama lapiku kuju. Samuti on tõestatud, et kokkupõrkamise tagajärjel liitusid osakesed tihendusteks. Need tihendused tõmbasid enda poole väiksemaid osakesi. Nii toimus selliste tihenduste kasvamine ümbritseva materia arvel. Lapikust pilvest tekkinud tihendite orbiidid pidid olema peaaegu ümmarguse kujuga ja asuma peaaegu ühes tasapinnas. Tihendid olid tulevaste planeetide eosteks, nad koondasid endasse

peaaegu kõik nende orbiitide vahel leiduvad aineosakesed (joon. 109).

On tõestatud ka, et tekkinud planeetide vahelised kaugused pidid vastavalt gravitatsiooniseadusele planeetide Päikesest eemaldumisel suurenema.

Vähem selge on gaasilis-tolmse pilve tekkimine, mis kunagi ümbritses Päikest. O. Schmidt ja teda pooldavad teadlased on arvamusel, et Päike võis oma külgetõmbejõuga haarata osa sellest suurest pilvest, millest ta varem ise oli tihenemise tagajärjel tekkinud. Akadeemik V. Fessenkov asub aga tõenäolisemal seisukohal. Tema arvates tekkis sellisest pöörlevast pilvest tihendus, millest hiljem kujunes Päike, ja et oma olemasolu alguses paiskas see tihendus oma ekvaatori tasapinnas välja hõrendatud ainet. Nii tekkis Päikest ümbritsev pilv Päikese enda ainest. Neist pilvedest tekkisid hiljem tihenemise teel planeedid. Edasi tema arvates Päike oma mõõtmeis tublisti vähenes ja jahtus, kuni omandas praeguse oleku.

Lähtudes olemasolevatest hüpoteesidest, ei saa praegusel ajal selgitada veel kõiki päikesesüsteemi üksikasju. Seda tehakse teaduse edasise arenemise käigus.

59. Tähtede, Päikese ja udukogude arenemine. Universumi igavene olemine. Tähtede füüsilist loomust on uuritud selleks veel puudulikult, et oleks võimalik teha kindlaid otsuseid selle kohta, kuidas tekivad tähed, ja eriti, kuidas tekkis Päike ja milline on tähtede saatus.

On täiesti võimalik, et aja jooksul ruumi mõnes osas tähtedevaheline tolm tiheneb suurteks kehadeks. Niisuguste kehade edaspidine kokkutõmbumine tingib nende kuumenemise ja helendumise, s. o. muutumise täheks. Kui temperatuur nende sees tõuseb küllalt kõrgele, peab seal algama vesiniku muundumine raskemateks keemilisteks elementideks, millega käib kaasas pikaajaline ja määratu suur energia eraldumine. Niisuguses olekus püsivad tähed vähemalt kümneid miljardeid aastaid ja sellises olekus on praegu Päike.

Koos tähtedega või veidi hiljem tekivad nende ümber gaasidest ja tolmuosakestest koosnevas keskkonnas planeedid.

Kui planeetidel kujunevad tingimused, mis on kõlblikud elu tekkimiseks, nagu näiteks Maal, siis tekib seal paratamatult elu.

Me ei tea täpselt, milline on tähtede edaspidine saatus, kuid on kindel, et aja jooksul nende energia saab otsa ja nad lakkavad helendamast. Nende aine peab mingil viisil minema uute taevakehade tekkimiseks.

Nõukogude teadlased on tõestanud, et difuusne mateeria meie Galaktikas tekib ka praegu tähtedelt (kõige kuumematelt ja uuematelt) väljapaisatud gaaside kuhjumisena. See gaas võib tiheneda tolmuks, millest aja jooksul tekivad jälle tähed. V. Ambart-

sumjan ja teised nõukogude teadlased oletavad, et paljud tähed on Maast nooremad ja nähtavasti tekivad nad ka tänapäeval. Ei maksa arvata, et tähed ja udukogud lõpmatult muunduvad ühest teiseks, s. o. arenemise asemel toimub läbitud vormide ja mateeria olekute lihtne kordumine.

Taevakehade arenemise uurimine põrkab kokku määratu suurte raskustega. Need raskused seisavad peamiselt selles, et taevakehad arenevad äärmiselt aeglaselt, sedavõrd aeglaselt, et sellega võrreldes mitte üksi inimelu kestus, vaid ka inimsoo olemasolu aeg Maa peal (umbes miljon aastat) osutub ainult lühikeseks hetkeks. Veel vähem jõudsid taevakehad märgatavalt muutuda ajavahemiku kestel, mille jooksul on toimetatud teaduslikke vaatlusi.

Vastandina usule, mis omistab kõik jumalale ja väidab, et maailm on inimestele tunnetamatu, uurib teadus maailma samm-sammult. Teadus piiritleb rangelt kindlasti tuntu oletatavast ja oletatava veel tundmatust.

Selles seisabki teaduse jõud, et tema edasiliikumisel oletatav järk-järgult muutub kindlasti tuntuks ja tundmatu asemele astub oletatav. Sellega tõestab teadus alatasa looduse tunnetamise võimalikkust ja selle tunnetamise järjest suuremat täpsust, ehkki ühelgi momendil kõik meie teadmised ei saa olla absoluutselt täpsed. Teaduse arenemine täpsustab meie varemaid kujutlusi. Kui vahel tuleb üks või teine teaduslik kujutlus asendada uuega, siis see just tõestabki teaduse jõudu, mitte aga tema nõrkust, sest uued kujutlused osutuvad tõele lähemaks kui varemad kujutlused. Teaduslike kujutluste vahetus — see on just nagu tõusmine teaduse tippudele mööda trepiastmeid.

Näiteks Uraani liikumise näivast vastuolust üldise gravitatsiooni seadusega, nagu teame, tekkis oletus planeedi olemasolust väljaspool Uraani teed, seejärel aga avastati selle alusel seni tundmatu planeet Neptuun.

Teadus seletab hüpoteeside, s. o. teaduslike oletuste abil mitmesuguste taevakehade tekkimist ja kirjeldab nende arenemist. Ajalugu näitab, et koos teaduse arenemisega on vahel tulnud ühed hüpoteesid asendada teistega, kuid uued hüpoteesid osutusid tõele lähemaks, sest nad tekkisid teadusalaste teadmiste süvenemise tulemusena.

Hüpoteeside osatähtsus teaduses on väga suur. Friedrich Engels, nimetades hüpoteesi «loodusteaduse arengu vormiks», rõhutas, et ilma hüpoteesideta «me poleks kunagi saanud teadust.»

Hüpoteesid kutsuvad esile järjest uusi teoreetilisi uurimisi, mis viivad uutele avastustele teaduses.

Hüpoteesid ehk teaduslikud oletused erinevad lihtsatest oletustest selle poolest, et nad põhinevad meie teadmiste kogusummal antud momendil ja peavad rahuldama teaduse paljusid nõudeid.

Samuti kui universum teaduslike andmete valguses osutub lõpmatuks ruumis, osutub ta lõpmatuks ka ajas, s. o. igaveseks. Universumil pole iialgi olnud algust ja ei saa iialgi olema ka lõppu, ta on eksisteerinud alati ja saab eksisteerima alati. Kõik see käib universumi kohta tervikuna, täpsemalt öeldes — mateeria kohta, millest ta koosneb. Tema üksikud osad aga, nagu näiteks Maa, päikesesüsteem, tähed ja isegi tähesüsteemid vahetpidamata kord siin, kord seal tekivad, sünnivad, läbivad pika arenemistee ja lõpuks lõpetavad oma eksisteerimise sel kujul, et neid moodustav mateeria võtab uue kuju. Mateeria ise aga, muutes alatasa oma kuju, ei hävi kunagi; ta on igavene, ja igavene on ta liikumine. Oma aja äraelanud maailmade asemele tekivad uued, milledel aja jooksul samuti tekib elu, mis vahetpidamata keerulisemaks muutumise teel tekitab oma kõrgeima avalduse — arukad, mõtlevad olevused.

LISAD.

I. Astronoomias esinevate tähtsamate suuruste ligikaudsed arvulised väärtused.

Päikese ja Kuu nurkdiameeter	$^1/_2°$
Ekliptika kalle ekvaatori suhtes	$23^1/_2°$
Maa keskmine raadius	6370 km
Maa ekvaatorilise ja polaarse raadiuse vahe	20 km
Troopilise aasta kestus	365 p. 5 t. 49 min.
Sünoodilise kuu kestus (ajavahemik Kuu kahe ühesuguse faasi vahel)	$29^1/_2$ ööpäeva
Sideerilise kuu kestus (Kuu tiirlemisperiood ümber Maa)	$27^1/_3$ ööpäeva
Päikese massi suhe Maa massisse	330 000
Kõige lühem planeedi (Merkuuri) tiirlemisperiood	3 kuud (88 ööpäeva)
Kõige pikem planeedi (Pluuto) tiirlemisperiood	250 aastat
Kõige suurema planeedi (Jupiteri) diameeter	11 Maa diameetrit
Kuu keskmine kaugus Maast	380 000 km
Maa keskmine kaugus Päikesest ehk 1 astronoomiline ühik	150 000 000 km
1 parsek	206 265 astr. üh. ehk $3^1/_4$ valgusaastat
Lähima planeedi (Merkuuri) keskmine kaugus Päikesest	0,4 astr. üh.
Kõige kaugema planeedi (Pluuto) keskmine kaugus Päikesest	40 astr. üh.
Päikesesüsteemi kaugus lähimast tähest (α Kentauris)	4 valgusaastat ehk $1^1/_3$ parsekit ehk 270 000 astr. üh.
Meie tähesüsteemi — Galaktika läbimõõt	100 000 valgusaastat
Kaugus lähima tähesüsteemini — galaktikani Andromeeda tähtkujus	1 500 000 valgusaastat
Palja silmaga nähtavate tähtede arv	umbes 6000
Kuu läbimõõt, võrreldes Maa läbimõõduga	$^1/_4$
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 3 miljardit aastat
Kevadine pööripäev	21. märtsil
Suvine pööripäev	22. juunil
Sügisene pööripäev	23. septembril
Talvine pööripäev	22. detsembril

II. Kreeka tähestik.

Αα	— alfa	Νν	— nüü
Ββ	— 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	— fii
Κϰ	— kapa	Χχ	— hii
Λλ	— lambda	Ψψ	— psii
Μμ	— müü	Ωω	— oomega

III. Heledate tähtede kõige enam tarvitatavad nimetused.

Algol	— β Perseuses	Kastor	— α Kaksikutes
Aldebaran	— α Sõnnis	Mizar	— ζ S. Vankris
Altair	— α Kotkas	Pollux	— β Kaksikutes
Antaares	— α Skorpionis	Põhjanael	— α V. Vankris
Arktuurus	— α Karjases	Procyon	— α V. Penis
Bellatrix	— γ Orionis	Regulus	— α Lõvis
Betelgeuse	— α Orionis	Riigel	— β Orionis
Veega	— α Lüüras	Siirius	— α S. Penis
Deneb	— α Luiges	Spica	— α Neitsis
Kapella	— α Veomehes	Fomalhaut	— α Lõuna-Kalades

IV. Mõningate NSV Liidus nähtavate heledate tähtede nimestik.

Tabelis spektri tähistus näitab ühtlasi värvust: valged tähed — O, B, A, kollased — F, G, K, punased — M.

Tähed	Tähe-suurus	Otsetõus α			Kääne δ	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 Lõuna-Kalades	1,28	22	53	47	—29 59,6	A

V. NSV Liidu linnade geograafilisi laiusi ja pikkusi (Greenwichist).

	Laius ° ′	Pikkus t. min.	Vööndi
Alma-Ata	43 16	5 7,7	5
Arhangelsk	64 33	2 42,1	3
Astrahan	46 22	3 12,3	3
Ašhabad	37 57	3 53,6	4
Bakuu	40 22	3 19,3	3
Blagoveštšensk	50 15	8 30,0	8
Dnepropetrovsk	48 30	2 20,0	2
Dušanbe	38 35	4 35,1	5
Jerevan	40 11	2 58,0	3
Frunze	42 53	4 58,3	5
Gorki	56 19	2 56,0	3
Habarovsk	48 30	9 0,3	9
Harkov	50 00	2 24,9	2
Ivanovo	57 00	2 44,3	3
Irkutsk	52 17	6 57,2	7
Jakutsk	62 03	8 38,9	8
Jaroslavl	57 35	2 39,6	2
Kaasan	55 48	3 16,5	3
Kaliningrad	54 47	1 22,1	2
Kamenets-Podolsk	48 41	1 46,1	2
Kiiev	50 27	2 2,0	2
Kirov	58 36	3 18,8	3
Kišinjov	47 02	1 55,3	2
Krasnojarsk	56 01	6 11,3	6
Kuibõšev	53 12	3 20,4	3
Kursk	51 44	2 24,7	2
Leningrad	59 56	2 1,3	2
Lvov	49 51	1 36,1	2
Minsk	53 53	1 50,2	2
Mogiljov	53 54	2 1,3	2
Moskva	55 45	2 30,5	2
Murmansk	68 58	2 12,3	2
Nikolajevsk Amuuri ääres	53 10	9 23,0	9
Novgorod	58 30	2 5,0	2
Novosibirsk	55 02	5 31,7	6
Odessa	46 28	2 2,9	2
Omsk	55 00	4 53,5	5
Ordžonikidze	43 02	2 58,7	3
Orenburg	51 45	3 40,7	4
Orjol	52 56	2 24,3	2
Pensa	53 12	3 0,0	3
Perm	58 00	3 45,1	4
Petrozavodsk	61 45	2 17,3	2
Petropavlovsk-Kamtšatski	53 00	10 34,7	11
Poltaava	49 36	2 18,3	2

	Laius ° ′	Pikkus t. min.	Vöönd
Riia	56 58	1 36,5	2
Rjazan	54 38	2 39,0	2
Rostov Doni ääres	47 14	2 38,8	3
Samarkand	39 39	4 27,9	4
Saraatov	51 32	3 4,0	3
Semipalatinsk	50 25	5 21,3	5
Sevastoopol	44 37	2 14,1	2
Simferoopol	44 58	2 16,5	2
Smolensk	54 47	2 8,2	2
Sverdlovsk	56 50	4 2,4	4
Žitomir	50 16	1 54,7	2
Tallinn	59 26	1 38,9	2
Tambov	52 40	2 46,0	3
Taškent	41 19	4 37,1	5
Tbilisi	41 43	2 59,3	3
Tobolsk	58 12	4 33,0	5
Tomsk	56 29	5 39,9	6
Tšernigov	51 29	2 5,2	2
Tšitaa	52 03	7 34,0	8
Tuula	54 12	2 30,5	2
Ufaa	54 43	3 43,9	4
Uljanovsk	54 19	3 13,7	3
Vilnius	54 41	1 42,2	2
Vladivostok	43 06	8 47,7	9
Volgograd	48 42	2 58,0	3
Voronež	51 40	2 36,8	3

VI. Päikesesüsteemi tabel.

	Sideeriline ringlemisperiood aastates	Sünoodiline ringlemisperiood ööpäevades	Keskmine kaugus Päikesest		Orbiidi kalle ekliptika suhtes	Mass (Maa = 1)	Tihedus $\frac{g}{cm^3}$-tes	Ekvaatoriline läbimõõt		Lapikus	Ümber telje pöörlemise periood	Ekvaatori kalle orbiidi tasapinna suhtes	Tuntud kaaslaste arv
			astr. üh.	milj. km				Maa = 1	km				
Merkuur	0,241[1]	116	0,387	58	7°	0,05	5,48	0,39	5 000	—	88 ööpäeva	0°	—
Veenus	0,615[2]	584	0,723	108	3° 23′	0,81	4,9	0,97	12 400	—	225? ööpäeva	?	—
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′	318,36	1,3	11,25	149 640	$^1/_{16}$	9 t. 50 min.	3° 6′	12
Saturn	29,46	378	9,539	1426	2° 29′	95,22	0,7	9,02	120 500	$^1/_{10}$	10 t. 14 min.	26° 45′	9
Uraan	84,01	370	19,19	2869	0° 46′	14,58	1,01	4,00	53 400	$^1/_{18}$	10,7 tundi	98°	5
Neptuun	164,7	368	30,07	4496	1° 46′	17,26	1,6	3,89	49 600	$^1/_{40}$	15,8 tundi?	29°	2
Pluuto	248,9	367	39,65	5929	17°	0,93	5?	1?	12 000?	?	?	?	—
Päike	—	—	—	—	—	332 400	1,4	109,0	1 391 600	—	25,4 ööpäeva (ekvaatoril)	7° 15′	—

[1] Ehk 88 ööpäeva.
[2] Ehk 225 ööpäeva.

VII. Päikesekella ehitus.

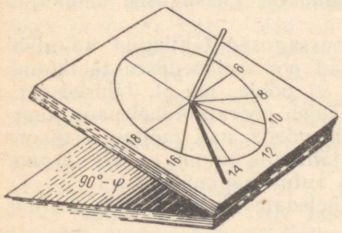
Ekvaatorilist päikesekella (joon. 110) on väga lihtne valmistada. Selleks võtame laua ja joonestame tema keskelt igale poole lähtuvad jooned nii, et naaberjooned moodustaksid omavahel nurga 15°, ning kirjutame joonte juurde kell 12, 1, 2 jne., sest mööda ekvaatori tasapinda nihkub vari ühtlase kiirusega. Nende joonte lõikepunktis kinnitame risti lauaga varva, mis läheb lauast läbi.

Asetades varvaga laua nüüd kaldu horisondi suhtes nurga all $90° - \varphi$, kus φ on vaatluskoha geograafiline laius, kinnitame ta nõnda, et kl. 12 märgitud joon laual oleks suunatud mööda keskpäevajoont. Viimane määratakse kindlaks päikesekella ülesseadmise kohal juba varem, nõnda, nagu see on kirjeldatud eespool (vt. p. 7).

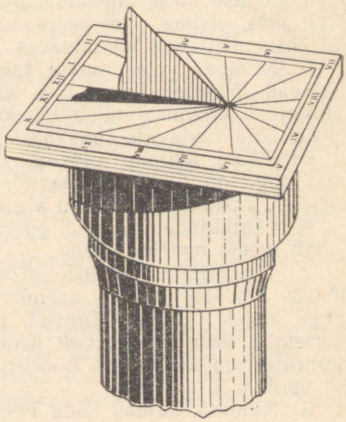
Selliste kellade ebamugavus seisab selles, et 23. septembrist kuni 21. märtsini langeb varva vari numbrilauale altpoolt.

Horisondiline päikesekell (joon. 111) on selles suhtes parem. Võtame laua ja seame temaga risti kolmnurga, mille teravnurk võrdub koha laiusega φ. Kolmnurga aluse pikendusena tõmbame joone ja kirjutame selle kõrvale kl. 12. Teistele kellaaegadele vastavad jooned, sõltuvalt geograafilisest laiusest, tõmbame selle joone suhtes nurga all x, arvutades x-i väärtused valemi, $\tan x = \sin \varphi \tan t$ põhjal, kus t asemel, mis võrdub 1, 2, 3 jne. tunniga, asetame 15°, 30°, 45° jne. Nurgad üksteisele järgnevate kellaaegade vahel ei võrdu 15°-ga nagu ekvaatorilises päikesekellas, sest Päikese ühtlasel pöörlemisel (koos taevasfääriga ümber maailma telje) varva vari rõhtsal tasapinnal nihkub ebaühtlaselt.

Horisondilise päikesekella numbrilaua keskpäevajoon tuleb samuti seada põhja—lõuna sihis. Päikesekell näitab loomulikult tõelist päikeseaega. Tema näitude ümberarvestamisel dekreediajaks peab teadma kohaliku aja ja dekreediaja erinevust antud maakohas. Sellejuures jääb ikkagi püsima veel väike erinevus, mis muutub aasta jooksul ja ulatub vahel kuni veerand tunnini. Selle erinevuse me leiame aga vastavast graafikust või astronoomilisest kalendrist ja saame ta samuti arvesse võtta. Olgu märgitud, et kevadel ja suvel, mil päikesekelli harilikult ka kasutatakse, see erinevus ei ületa 4 min., välja arvatud ajavahemik juuli algusest augusti keskpaigani. Sel ajal jääb tõeline aeg keskmisest ajast maha 5—6 min.



Joon. 110. Ekvaatoriline päikesekell.



Joon. 111. Horisondiline päikesekell.

VIII. Juhendeid vaatlusteks.

Peamiste taevanähtuste vaatlused on õpilastele aine omandamisel niisama vajalikud kui katsete teostamine füüsikas. Taevalaotust saab vaadelda aga ainult selge, pilvitu ilmaga. Mõned nähtused toimuvad ainult hommikuti või kindlaksmääratud, harva esinevatel momentidel, nagu näiteks varjutused, ja me ei saa neid vaadelda teisel, meile sobival ajal. Seepärast, pidades silmas veel astronoomia õppimise lühikest aega koolis, ei tohi me vaatlustega mingil juhul viivitada. Neid tuleb läbi viia esimesel võimalusel, kasutades selleks esimesi selgeid õhtuid. Asjatu on püüda teostada vaatlusi vastavalt tunnis läbivõetud programmiküsimustele (nendega paralleelselt). Sellise kooskõla saavutamine on meie ilmastikutingimustes võimatu.

Võimalikult rohkesti peab püüdma teostada vaatlusi septembri- ja oktoobrikuu jooksul, millal esineb sageli selgeid õhtuid ja pole veel kuigi külm. Novembris ja talvekuudel esineb selget ilma harvemini, ja samuti raskendavad vaatlusi pakased. Märtsis esineb sageli selgeid ilmu, kuid pimenema hakkab üha hiljem ja hiljem.

Vaatlusi tuleb teostada soojalt riietatuna ja kohas, mis on varjatud laternate ja majade akende valguse eest. Tähti tuleb vaadelda ajal, mil vaatlust ei sega Kuu valgus. Soovitatav on kasutada vaatluste ajal väikest, võrdlemisi tuhmi valgusega laternakest, mis võimaldab vajaduse korral jälgida taevakaarti ja teha üleskirjutusi või visandeid (jooniseid).

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

1. Umbkaudu iga kahe nädala tagant (sõltuvalt ilmast) märkida ja üles joonistada Päikese tõusu või loojangu koht nähtaval horisondil teiste esemete suhtes. Veenduda tõusu- või loojangupunktide muutumises.

2. Soovitatav on teha sedasama Kuu suhtes, kuid sealjuures kirjutada iga kord üles veel tõusu või loojumise kellaaeg. Neid vaatlusi tuleb aga teostada juba iga päev, kuid piisab ainult 3—4 korrast.

3. Jälgida päevast päeva Kuu faaside muutumise täielikku tsüklit. Sealjuures teha naaberpäevadel mitte vähem kui kaks joonist Kuu välisilme ja asendi kohta tähtede keskel. Joonis teha tähekaardist valmistatud koopiale. Need joonised tuleb teha ajal, millal Kuu ei helenda 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 meile, kuidas Kuu liigub tähtede taustal itta.

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

5. Kevadel (veel parem 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 kujutatud tähtede erinevale heledusele ja ühendada nad mõttes sirgjoontega, nagu on näidatud kaardil. Leidnud ühe tähtkuju, minna sellelt järgmisele jne., kasutades raamatu alguses (punktis 2) antud näpunäiteid.

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

7. Tähtkujude vaatluste protsessis, päris alguses ja lõpus, pange tähele mõnede heledate tähtede asendit taevavõlvi ida-, lääne-, lõuna- ja põhjaosas, pange tähele, kuidas liiguvad tähed horisondi suhtes taevaskera ööpäevase pöörlemise tõttu ja sõltuvalt nende kaugusest maailma poolusest. Soovitatav on fotografeerida taevaskera pöörlemist pooluse lähedal nii, nagu see on kirjeldatud punktis 5.

8. Näidata, kuidas leida Põhjanaela ja tema järgi teisi ilmakaare punkte.

9. Märkida, kas koos terve klassiga või iseseisvalt, kooliõuel või kodus. Päikese keskpäevavari, nagu on näidatud eespool.

10. Kuu faasi ja asendi järgi horisondi suhtes näidata ligikaudselt põhiilmakaared (vastavalt joonisele 21).

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

12. Märkida üles, kuidas lendavad taevalaotuses meteoorid (ülalkirjeldatud vaatluste käigus).

13. Vaatlused teleskoobiga või binokliga. Binokkel annab harilikult kuuekordse suurenduse. Temaga võib näha: 1) suuri päikeselaike (läbi tumeda klaasi); 2) Kuu hommikuse või õhtuse serva ebatasasusi ja tema suuremaid rõngakujulisi mägesid; 3) paljusid tähti Linnutees ja Plejaadide tähesagaras (milles palja silmaga võib näha 6 tähte); 4) Orioni gaasilist udukogu (talvel) ja udulaiku — galaktikat — Andromeedas (sügisel), mis on palja silmaga vaevalt nähtav; 5) kaksiktähti: Suures Vankris, Lüüras; 6) mõnikord Jupiteri kaaslasi (mis on viimasele väga lähedal).

IX. Pööratav taevakaart.

Maakera ööpäevane pöörlemine ümber oma telje ja aastane tiirlemine ümber Päikese kutsuvad esile tähistaeva vaate pideva muutumise. See tähistaeva vaate ööpäevane ja aastane muutumine teeb tähistaeva tundmaõppimise kaunis keeruliseks. Tähistaeva ja selle näiva liikumise tundmaõppimiseks väga kohane vahend on pööratav taevakaart, mis võimaldab saada ilmakaarte järgi orienteeritud tähistaeva kujutust iga soovitud kuupäeva ja kellaaja jaoks. Käesolevale õpikule lisatud pööratav taevakaart koosneb kahest osast. Esimesel lehel on antud väljalõigatav šabloon horisondiga, ilmakaartega ja kellaaegadega. Teisel lehel on antud tavaline taevakaart kõikide meie laiusel nähtavate taevaaladega. 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 käänded taevaekvaatorist põhja ja lõuna poole (vastavalt positiivne ja negatiivne kääne), avaldades nad kaaremõõdus, s. o. kraadides, kaareminutites ja kaaresekundites. Otsetõus loetakse ida poole kevadise pööripäeva käänderingist ehk käänderingist, kus asetseb kevadise pööripäeva punkt. Selles punktis asetseb Päike kevadisel pööripäeval, läbides taevaekvaatorit ja minnes lõunapoolkeralt põhjapoolkerale. Otsetõus avaldatakse ajamõõdus, s. o. tundides, ajaminutites ja ajasekundites (360° = = 24 tundi). Päikese näiv aastane teekond taevas — ekliptika — on märgitud kaardile punktiirjoonega. Päike liigub mööda ekliptikat vastassuunas taevaskera näivale pöörlemisele. Ekliptika kahest lõikepunktist taevaekvaatoriga on üks kevadise, teine sügisese pööripäeva punkt. Paralleelringidele vastavad käänded on märgitud kaardil kevadise pööripäeva 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 isofootidega (samaheledusjoontega).

Tuleb tähendada, et kaardi joonestamisel on kasutatud stereograafilist projektsiooni. Selle projektsiooni suureks eeliseks on see, et ta võimaldab esitada tasapinnal kerapinna kujundeid loomutruult, ilma moonutamiseta, 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 keskmest (meie juhul taevapoolusest). Mastaabi moonutamisest on tingitud asjaolu, et tähtkujud meie kaardi välisosadel on ebaloomulikult suured, võrreldes tähtkujudega kaardi keskpunkti ligidal. Samal põhjusel on ida- ja läänepunkt, asetsedes tegelikult võrdsel kaugusel lõuna- ja põhjapunktist, projektsioonis põhjapunktile lähemal (ida- ja läänepunkt on ühtlasi taevaekvaatori 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 ringini 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 avauses mingil momendil meie laiusel nähtava tähistaeva 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 soovitav kellaaeg šabloonil ühtib soovitud kuupäevaga kaardi välisel ribal. Nii saamegi anda horisondile õige asendi, mis vastab soovitavale kellaajale ja kuupäevale. Šablooni avauses näeme siis tähistaeva kujutist, mis sel kuupäeval ja kellaajal on nähtav. Pööratava taevakaardi reegliks on seega: *kellaaeg 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 reegliks 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

katte avause 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 muidugi 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 kartongileht ümmarguse avausega, mille raadius võrdub šablooni omaga.

Pööratavat taevakaarti on võimalik valmistada ka teisiti, kleepides šablooni kaardi kattele ja lõigates viimasesse šablooni horisondijoone järgi avause. Ümmargusele kartongitükile kleebitud tähekaart asetatakse katte ja aluse vahele nii, et taevapoolus kaardil ja šabloonil ühtiksid. Kaart peab olema pööratav taevapooluse ümber. Selleks on kõige lihtsam kinnitada kaart läbi pooluse torgatud nööpnõela või traaditüki abil aluse külge. Et kaardi väline jaotatud riba oleks nähtav, tuleb kattest 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 aastaaegade 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 kergendavad tunduvalt 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 ilmakaares 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.

AINEREGISTER.

Aasta, liht- 74
— lisapäeva- 73
— troopiline 73
Aastaaegade vaheldumine 65
Aastaajad 65
Aastaparallaks 39, 46, 123
Aeg, dekreedi- 69
— keskmine päikese- 68
— kohalik 67, 69
— tõeline päikese- 68
Afeel 34, 97, 108
Ajaarvamise algus 74
Aja mõõtmine 67
Ajavõrrand 68
Algol 131
Altair 11, 13
Ambartsumjan, V. 149
Antaares 126
Apogee 52
Aristoteles (384—322 e. m. a.) 25
Arktuurus 13
Asimuut 55
Asteroidid 97, 105
Astroloogia 24
Astronoomia 3—4, 28, 53, 75, 107
Astronoomiline ühik 35
Astronoomilised meetodid 76
Astronoomilised vaatlused 75, 158

Baas 37
Belopolski, A. (1854—1934) 81, 82
Betelgeuse 126
Biela komeet 112
Boliid 112
Bredihhin, F. 109
Bruno, Giordano (1548—1600) 30

Ceres 105

Deferent 26
Deklinatsioon 54
Dekreediaeg 69
Difuusne mateeria 140, 149
Difuussed udukogud 140
Doppler-Fizeau' printsiip 82

Ekliptika 61, 85
Ekstsentritsiteet 33
Ekvaatoriliste koordinaatide süsteem 55, 67

Ence komeet 108
Epitsükkel 26

Faasid, Veenuse 29, 98
— Kuu 85
Fessenkov, V. 149
Fessenkovi hüpotees 149
Fotograafia 76
Foucault' pendel 45
Fraunhoferi jooned 116
Füüsilised kaksiktähed 129

Gaasist koosnevad udukogud 140
Galaktika 8, 133, 139, 141, 144, 149
Galaktikad 137
Galilei, Galileo (1564—1642) 29
Geograafiline laius 58, 154
— pikkus 54, 72, 154
Geotsentriline süsteem 25
Gravitatsiooniseadus 39
Gravitatsiooni konstant 40

Halley komeet 108
Heledus, 9, 10, 131—133
Heliotsentriline süsteem 28
Herkules 126, 134
Hiidplaneedid 102
Hiidtähed 127
Horisondi punktid 19
Horisondiline parallaks 38
Horisondiliste koordinaatide süsteem 55
Horisont 18
Häired 43
Hüpotees, Fessenkovi 149
— Kanti 147
— Laplace'i 147
— Schmidti 148

Jahipenide tähtkuju 137
Jupiter 7, 22—23, 28, 37, 102—105
Jupiteri kaaslased 29, 105

Kaaslased, Jupiteri 29, 105
— Marsi 99
— Neptuuni 105
— Saturni 105
Kaksiktähed 129

Kaksikud 11
Kalender 73
Kaljukitse pöörijoon 63
Kanti hüpotees 147
Kapella 126
Kassiopeia 11
Kauguste määramine Kuu ja Päikeseni 37—39
Kell, kvarts- 72
— päikese- 157
Kellaajavööndid 70
Kentaur 47
Kepler, Johann (1571—1630) 33
Kepleri seadused 33—35
Keskmine päikeseaeg 68
Keskmine päikeseööpäev 68
Keskpäevajoon 18, 158
Kevadine võrdpäevsus 60
Kohalik aeg 67, 69
Komeedid 6, 107, 110—112
Komeet, Biela 112
— Ence 108
— Halley 108
Koordinaadid vt. *Koordinaatide süsteem*
Koordinaatide süsteem, ekvaatoriliste 55, 67
— horisondiliste 55
Kopernik, Nikolai (1473—1543) 27
Kosmilised kiirused 52
Kosmogoonia 146
Kosmoselennud 47
Kotkas 11, 13
Kraadimõõtmine 36
Kulminatsioon 20, 59, 86
Kuu 6, 40, 41, 85
— atmosfäär 96
— faasid 6, 85
— kraatrid 94
— liikumine 40, 85
— mered 94
— orbiidi sõlmed 85
— pinnaehitus 94
— pinna temperatuur 96
— pöörlemine 92
— tsirgid 94
Kuu ja nädala tekkimine 74
Kuu, sideeriline 85
— sünoodiline 86
Kuupäevaraja 71
Kuuvarjutused 87
Kvartskell 72
Kõrgus 56
Kääbustähed 127—129

Langevate kehade kaldumine ida poole 44
Laplace'i hüpotees 147
Lebedev, P. (1866—1912) 109
Lihtaasta 74
Liikuv taevakaart 13
Linnutee 8, 29, 133
Lisapäeva-aasta 73
Lomonossov, M. (1711—1765) 31
Lõunapolaarjoon 64
Lüüra 11, 13, 125—126, 140

Maa 13, 35, 40, 44, 46—53, 58
— kerasus 35
— kuju 35
— kunstlikud kaaslased 47
— külgetõmbejõud 40
— lapikus 36
— liikumine 40
— mass 41
— mõõtmed 35—36
— pöörlemine 13, 44
— tiirlemine 64
— vanus 145
Maailma pooluse kõrgus horisondist 57
— poolused 16—17, 58
— telg 16—17
Marsi kaaslased 99
Marss 7, 22—23, 99
Meridiaan 18, 19
Meridiaanring 56
Merkuur 7, 22—23, 98—99
Meteoorid 110
Meteoorkeha 96
Meteoriidid 112
Meteoriit, Sihhote-Alini 113
— Tunguusi 112
Mitmekordsed tähed 130
Mitteloojuvad tähed 14
Muutlikud tähed 129, 132

Nadiir 18
Neptuun 44, 102—105
Neptuuni kaaslased 105
Newton, Isaac (1643—1727) 41
Newtoni seadus 39
Noorkuu 85
Nurkkaugus 15
Nädala ja kuu tekkimine 74

Observatooriumid 83, 130
Optilised kaksiktähed 130
Orienteerumine 21
Orion 10, 11, 13
Osaline päikesevarjutus 89
Otsetõus 54

Parallaktiline nihkumine 37, 47
Parsek 123
Pegasus 11
Perigee 52
Periheel 34, 108
Planeedid 5, 31, 96

Planeetide näiv liikumine 22
Planetaarsed udukogud 140
Plejaadid 134
Pluuto 7, 97
Proxima 47
Ptolemaios, Claudios (II saj.) 26
Punased kääbustähed 127
Põhjanael 11, 21
Päike 20, 28, 29, 46, 59, 89, 114
Päikese atmosfäär 116
— energiaallikad 121
— energia kiirgumine 119
— faklid 115
— fotosfäär 115
— graanulad 115
— kromosfäär 116
— kroon 116, 118
— laigud 120
— mass 114
— mõõtmed 114
— perioodiline tegevus 120
— protuberantsid 90, 116
— pöörlemine 114
— raadiolained 121
— spekter 116
— temperatuur 116
— vanus 145
— ümberpöörav kiht 116
Päikese, Kuu ja taevakehade suuruse määramine 39
Päikese massi määramine 42
— näiv aastane liikumine 59
— ööpäevase tee muutumine 62
Päikesekell 157
Päikesesüsteem 6, 24, 96, 137, 147, 156
Päikesevalguse rõhk 109
Päikesevarjutus, osaline 89
— rõngakujuline 90
— täielik 89
Pöörijoon, Kaljukitse 63
— Vähja 62
Pööripäev, suvine 59
— talvine 60

Raadioastronoomia 83
Raadioteleskoop 84
Radiant 111
Reflektor 78
Refraktor 77
Riigel 10
Rõngakujuline päikesevarjutus 90

Saturn 22—23, 28, 102—105
Saturni kaaslased 105
— rõngas 105
Schmidt, O. 148—149
Schmidti hüpotees 148
Sekstant 75
Seniit 16
Seniitkaugus 56
Sideeriline kuu 85
Sihhote-Alini meteoriit 113
Siirius 10, 13, 126
Siiriuse kaaslane 128
Spektraalanalüüs 78, 140
Spektraalkaksikud 131
Spektrograaf 79
Spektrogramm 79
Spektroskoop 78
Struve, O. 130
Suur Karu 9
— Vanker 10, 125
Suvine pööripäev 59
Sõnn 11, 13, 134
Sügisene võrdpäevsus 60
Sügispunkt 61
Sünoodiline kuu 86
Süsteem, geotsentriline 25
— heliotsentriline 28

Zodiaagi tähtkujud 61
Zodiaagivalgus 119
Zodiaagivöö 61
Zodiaak 61

Taevaekvaator 17—18
Taevakehade kauguste määramine 37
— kiiruste määramine 41, 81
— koordinaatide määramise praktilised meetodid 56
— liikumine 41
— tekkimine 145
— temperatuuride määramine 81
Taevameridiaan 18
Taevaskera 14
Talvine pööripäev 60
Teleskoop 76, 130
Teodoliit 56
Titaan 105
Tolmust koosnevad udukogud 141
Triiton 105
Troopiline aasta 73
Tsefeiidid 133
Tsiolkovski, K. (1857—1935) 47
«Tuhkvalguse» nähtus 87
Tunguusi meteoriit 112
Tunninurk 67
Tõeline päikeseaeg 68
Tõeline päikeseööpäev 68
Tõus ja mõõn 42
Tähed, füüsilised kaksiktähed 129
— hiid- 127
— kaksik- 129
— kääbus- 127—129
— mitmekordsed 131
— mitteloojuvad 14
— muutlikud 129, 132
— optilised kaksik- 130

— spektraalkaksikud 131
— uued 133
— valged kääbus- 128
— varjutuskaksikud 131
Tähekaart 54
Täheparved 8, 133
Tähesuurus 9—10
Tähtede absoluutne heledus 124
— kaugused 123
— liikumine 124
Tähtkujud 5—9, 125—126
Tähtkujude asetus taevas 10
Täielik päikesevarjutus 89
Täiskuu 6, 85

Udukogud, difuussed 140
— gaasist koosnevad 140
— planetaarsed 140
— tolmust koosnevad 141
Universum 5, 144
Uraan 43, 103, 150
Uued tähed 133
Uus kalender 73

Valged kääbustähed 128
Valgusaasta 123
Vana kalender 73
Varjutuskaksikud 131
Vastasseis 33
Veega 11, 13, 126
Veenus 22—23, 98—99
Veenuse faasid 29, 98
Virmalised 121
Võrdpäevsus, kevadine 60
— sügisene 60
Vähja pöörijoon 62
Väike Vanker 10, 11
Vööndiaeg 69

SISUKORD.

Sissejuhatus.

1. Astronoomia aine 3
2. Taevavõlv ja tähtkujud 8
3. Tähistaeva ööpäevane pöörlemine. Maa pöörlemine 13
4. Taevaskera ja tema praktiline tähtsus 14
5. Taevaskera põhipunktid ja -jooned 16
6. Taevakehade kulminatsioon 20
7. Ligikaudne orienteerumine maapinnal taevakehade järgi 21
8. Planeetide näiv liikumine 22

I peatükk.

Maa ja päikesesüsteemi kohta käivate kujutluste arenemine.

9. Astronoomia vanal ajal. Religioossed ettekujutused 24
10. Geotsentrilise maailmasüsteemi mõiste 25
11. Koperniku revolutsiooniline avastus 27
12. Galilei avastused. Kiriku võitlus teaduse vastu 29
13. Planeetide tõeline liikumine. Kepleri seadused 31
14. Maa kuju ja mõõtmete kindlaksmääramine 35
15. Parallaktiline nihkumine ja taevakehade kauguse määramine . . 37
16. Taevakehade suuruse määramine 39
17. Üldise gravitatsiooni seadus ja järeldused sellest 39
18. Maa ööpäevase pöörlemise tõestus 44
19. Tähtede aastaparallaks kui Maa ümber Päikese tiirlemise tõestus . . 46
20. Maa kunstlikud kaaslased. Kosmoselennud 47

II peatükk.

Astronoomia praktilised rakendused ning taevakehade tundmaõppimise meetodid.

21. Ekvaatorilised koordinaadid ja tähekaart 51
22. Horisondiliste koordinaatide süsteem 55
23. Taevakehade koordinaatide määramise praktilised meetodid . . . 56
24. Seos pooluse kõrguse ning taeva välisilme ja koha geograafilise laiuse vahel 57
25. Taevakehade seniitkaugus kulminatsioonimomendil ja geograafilise laiuse määramine 58
26. Päikese näiv liikumine mööda ekliptikat 59
27. Päikese ööpäevase tee muutumine horisondi kohal erinevatel laiustel 62
28. Maa tiirlemine ümber Päikese ja sellest tulenevad nähtused . . . 64
29. Aja mõõtmine 67
30. Aja mõõtmise süsteemid 69
31. Geograafilise pikkuse määramine 72
32. Kalender 73
33. Astronoomilised vaatlused mere- ja õhuväes 75
34. Taevakehade uurimise astronoomilised meetodid 76

III peatükk.

Päikesesüsteemi kehade füüsiline loomus.

Kuu.

35. Kuu liikumine ja faasid 85
36. Päikese- ja kuuvarjutused 87
37. Kuu füüsiline loomus 92

Planeedid ja kaaslased.

38. Päikesesüsteemi üldine ülevaade 95
39. Merkuur ja Veenus 98
40. Marss ja elu võimalikkus teistel planeetidel 99
41. Hiidplaneedid 102
42. Väikesed planeedid — asteroidid 105

Komeedid, meteoorid ja meteoriidid.

43. Komeedid, nende liikumine ja loomus 107
44. Meteoorid ehk lendtähed ja nende seos komeetidega 110
45. Boliidid ja meteoriidid 112

Päike.

46. Päike vaadatuna läbi teleskoobi ja tema pöörlemine 114
47. Päikese atmosfäär ja keemiline koostis 116
48. Päikese energia kiirgumine ja Päikese tegevuse perioodilisus . . 119

IV peatükk.

Tähed ja tähesüsteemid. Universumi ehitus.

49. Aastaparallaks ja tähtede kaugused 123
50. Tähtede absoluutne heledus ja liikumine 124
51. Tähtede temperatuur ning mõõtmed 126
52. Kaksiktähed ja muutlikud tähed 129

Tähesüsteemid ja difuusne mateeria.

53. Täheparved. Linnutee ja Galaktika 133
54. Teised tähesüsteemid — galaktikad 137
55. Difuusne mateeria 140
56. Universumi lõpmatus 144

V peatükk.

Taevakehade tekkimine ja arenemine.

57. Küsimus taevakehade tekkimisest ja nende vanusest 145
58. Planeetide süsteemide tekkimine 147
59. Tähtede, Päikese ja udukogude arenemine. Universumi igavene olemine 149
LISAD 152
AINEREGISTER 162

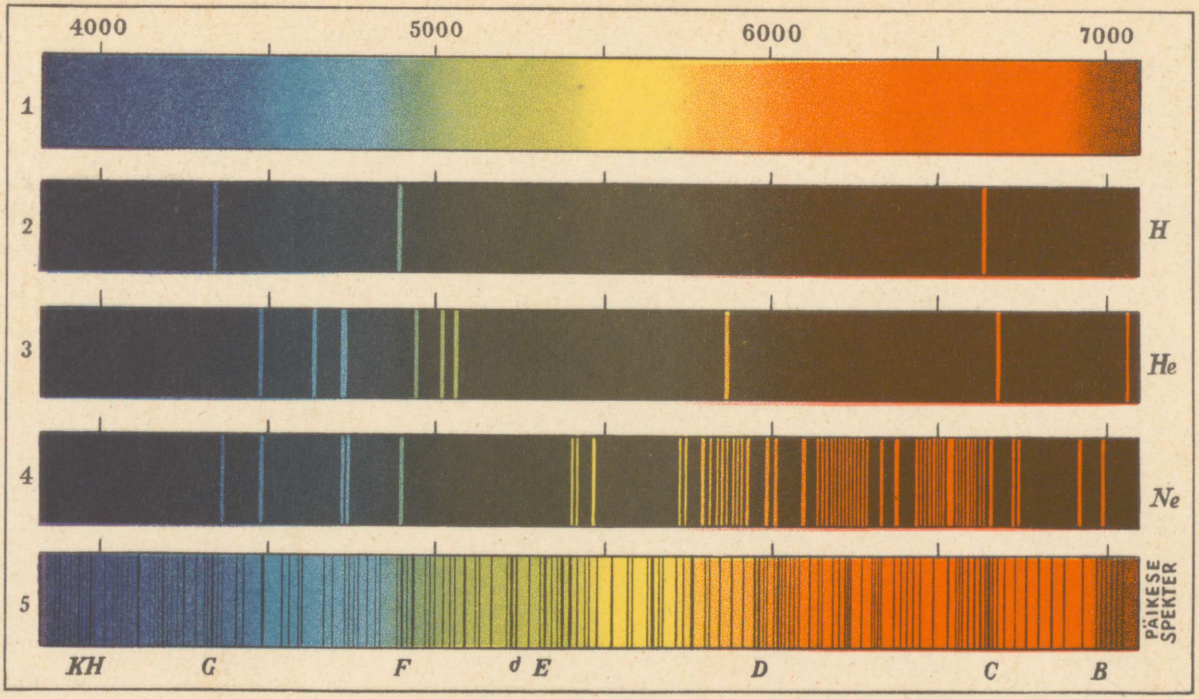
Борис Александрович Воронцов-Вельяминов. АСТРОНОМИЯ. Учебник для средней школы. Издание одиннадцатое. На эстонском языке. Перевели с русского А. Марксоо, Р. Сиирак. Художественное оформление Р. Пангсепп. Издательство «Валгус», Таллин, Пярнуское шоссе, 10.

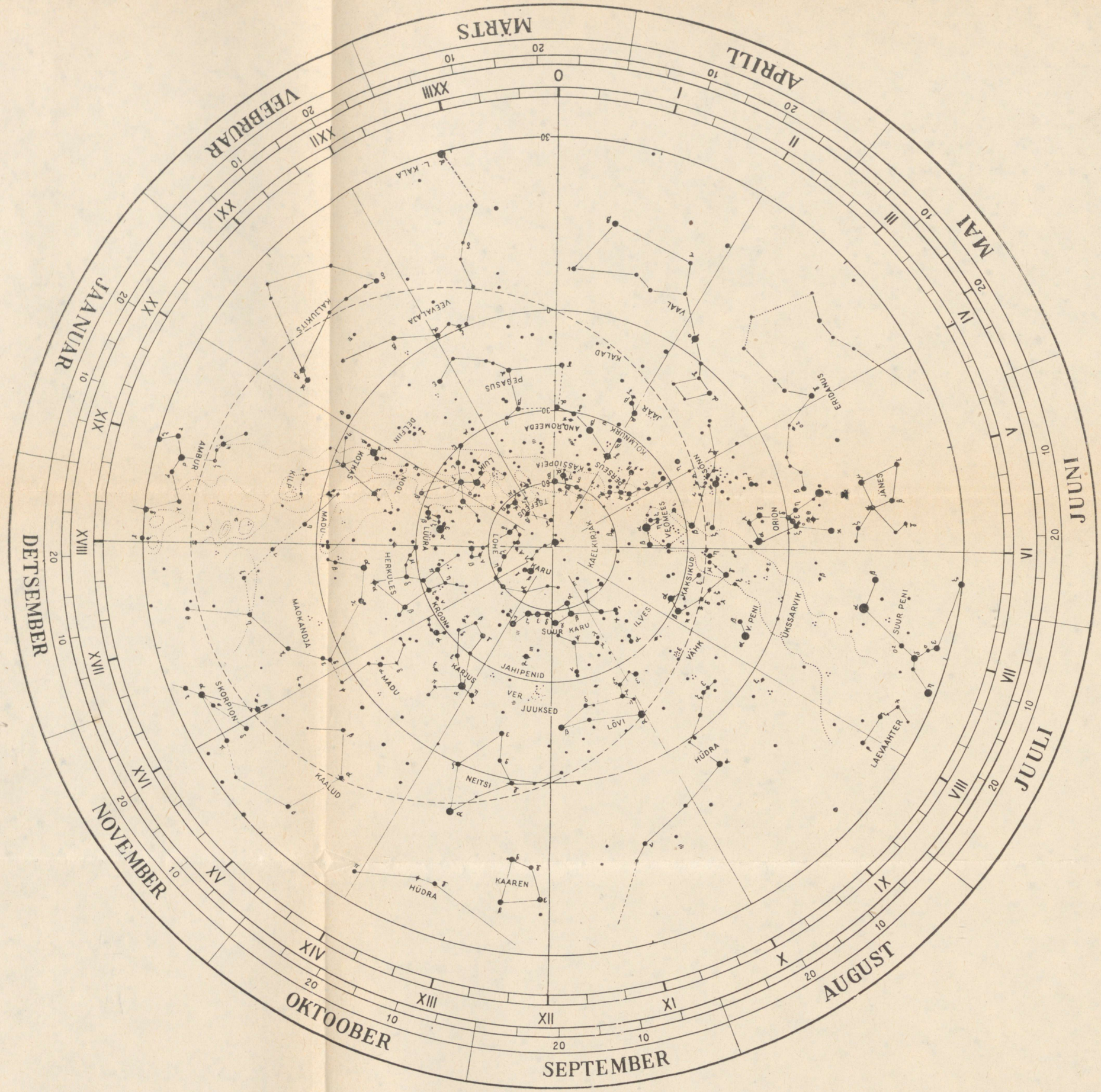
*

Toimetaja M. Soosaar. Kunstiline toimetaja H. Keigo. Tehniline toimetaja L. Maidla. Korrektorid H. Kull ja M. Maide.

Laduda antud 15. IV 1967. Trükkida antud 10. X 1967. Paber 60×90/16. Trükipaber nr. 2 — Kohila Paberivabrik. Trükipoognaid 10,5+0,4 (3 lisa). Arvestuspoognaid 11,34. Trükiarv 7000. Tellimise nr. 6425. Trükikoda «Kommunist», Tallinn, Pikk t. 2.

Hind 23 kop.


4000
5000
6000
7000
1
2
H
3
He
4
Ne
5
PÄIKESE SPEKTER
KH
G
F
d
E
D
C
B


MÄRTS
APRILL
MAI
JUUNI
JUULI
AUGUST
SEPTEMBER
OKTOOBER
NOVEMBER
DETSEMBER
JAANUAR
VEEBRUAR
L. KALA
VEEVALAJA
KALJUKITS
VAAL
KALAD
PEGASUS
JÄÄR
ERIDANUS
ANDROMEEDA
KOLMNURK
PERSEUS
KASSIOPEIA
SÕNN
DELFIIN
AMBUR
KOTKAS
NOOL
LUIK
TSEFEUS
VEOMEES
ORION
JÄNES
KILP
MADU
LÜÜRA
LOHE
KAELKIRJAK
HERKULES
KARU
KAKSIKUD
MAOKANDJA
KROON
SUUR KARU
ILVES
V. PENI
ÜKSSARVIK
SUUR PENI
VÄHK
JAHIPENID
KARJUS
MADU
SKORPION
VER
JUUKSED
LÕVI
HÜDRA
LAEVAAHTER
KAALUD
NEITSI
KAAREN
HÜDRA

PÕHI
KIRRE
LOE
IDA
LÄÄS
KAGU
EDEL
LÕUNA
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23

23 kop.

A-28986

TÜ RAAMATUKOGU
1 0300 00313784 3